

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATHÁLIA CRISTINA ORTIZ DA SILVA

RESEQUENCIAMENTO BIOBJETIVO ONLINE EM MÁQUINAS PARALELAS
IDÊNTICAS APLICADO AO SETOR INTRA-HOSPITALAR

CURITIBA

2020

NATHÁLIA CRISTINA ORTIZ DA SILVA

RESEQUENCIAMENTO BIOBJETIVO ONLINE EM MÁQUINAS PARALELAS
IDÊNTICAS APLICADO AO SETOR INTRA-HOSPITALAR

Tese de doutorado apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Setor de Ciências Exatas e de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin
Coorientador: Prof. Dr. Angel Ruiz

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S586r

Silva, Nathália Cristina Ortiz da

Resequenciamento biobjetivo online em máquinas paralelas idênticas aplicado ao setor intra-hospitalar [recurso eletrônico] / Nathália Cristina Ortiz da Silva. – Curitiba, 2020.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, 2020.

Orientador: Cassius Tadeu Scarpin. Coorientador: Angel Ruiz.

1. Programação linear. 2. Hospitais - Serviços de ambulatório. 3. Controle de produção. 4. Planejamento da produção. I. Universidade Federal do Paraná. II. Scarpin, Cassius Tadeu. III. Ruiz, Angel. IV. Título.

CDD: 658.56

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **NATHALIA CRISTINA ORTIZ DA SILVA** intitulada: **Resequenciamento Bi-Objetivo On-line em Máquinas Paralelas Idênticas Aplicado ao Setor Intra-Hospitalar**, sob orientação do Prof. Dr. CASSIUS TADEU SCARPIN, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 02 de Março de 2020.




CASSIUS TADEU SCARPIN
Presidente da Banca Examinadora



ROBERTO ZANETTI FREIRE
Avaliador Externo (PONTIFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)



JOSÉ EDUARDO PÉCORÁ JUNIOR
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



LEONARDO SILVA DE LIMA
Avaliador Externo (CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECN. CELSO SUCKOW DA FONSECA)



LEANDRO MAGATO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, em especial ao meu pai Airton, minha mãe Vera e meu irmão Juliano, que sempre estiveram ao meu lado para me dar todo o apoio necessário para seguir em frente.

Ao meu orientador Dr. Cassius Tadeu Scarpin e meu coorientador Dr. Angel Ruiz, pelo suporte ao longo do doutorado.

Aos membros da banca pelas valiosas contribuições ao meu trabalho.

A todos os funcionários e professores do PPGMNE, em especial àqueles com quem eu tive a oportunidade de conviver e receber um pouco dos seus ensinamentos.

Ao C3SL (Centro de Computação Científica e Software Livre) da UFPR, por fornecer os recursos computacionais para a realização deste trabalho.

Ao DAGA (Departamento de Administração Geral e Aplicada) da UFPR, por permitir a utilização do laboratório de computadores.

Ao Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Sul – Campus Erechim, pela colaboração e compreensão em relação aos horários em que estive envolvida com as atividades de pesquisa do doutorado.

A todos os meus colegas do GTAO por contribuírem, de alguma forma, com esse momento. Em especial, eu gostaria de agradecer aos amigos Cleder M. Schenekemberg, Deidson V. Kurpel, Fernanda G. Milani, Kellen D. Endler, Talita M. P. Schmidt e Tamires Sfeir, pelo apoio incondicional e pela troca de experiências ao longo de todo o período de pós-graduação.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

A Deus, por guiar minha vida.

O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.
Eleanor Roosevelt

RESUMO

O presente trabalho aborda o problema de resequenciamento online em máquinas paralelas idênticas aplicado ao setor intra-hospitalar com o objetivo de otimizar, simultaneamente, o tempo máximo de conclusão das atividades (*makespan*) e a soma total de atrasos dos atendimentos aos pacientes. Para que este problema descreva um ambiente dinâmico semelhante ao setor hospitalar, realiza-se um resequenciamento a partir da chegada de novos atendimentos, juntamente com as atividades ainda não processadas no sequenciamento anterior, de acordo com o nível de urgência ou grau de prioridade de cada atividade. A metodologia de resequenciamento é aplicada com base em sete políticas distintas, que utilizam uma abordagem exata, a partir de um modelo de Programação Linear Inteira Mista. Com o objetivo de avaliar as políticas propostas neste trabalho, desenvolveu-se uma heurística operacional de resequenciamento, a fim de descrever as decisões cotidianas adotadas no setor hospitalar. Extensivos testes computacionais, a partir de dados realísticos de um hospital, foram realizados para comparar o desempenho das políticas desenvolvidas com a heurística operacional. As abordagens exatas, de forma geral, apresentam resultados superiores aos encontrados pela heurística operacional em todos os conjuntos de testes avaliados. Em particular, a Política 3, que realiza o resequenciamento a cada bloco de tempo decorrido, apresentou resultados dominantes em ambos os objetivos do problema. Para trabalhos posteriores, pretende-se incluir outras características hospitalares ao problema proposto e novos métodos de solução para o resequenciamento.

Palavras-chave: Resequenciamento online. Máquinas paralelas idênticas. *Makespan*. Atraso total. Setor intra-hospitalar.

ABSTRACT

The present study aims to perform an online rescheduling on identical parallel machines applied in intrahospital sector with the objective of, simultaneously, optimizing the maximum completion time of activities (makespan) and the total tardiness in patient care. For this problem to describe a dynamic environment similar to the hospital sector, we perform a rescheduling from the arrival of new services, in which the activities not yet processed in the previous scheduling are executed together the new ones, according to the urgency level or priority of each activity. The rescheduling method is applied to seven different policies that use an exact approach by a Mixed Integer Linear Programming model. In addition, we create a policy called operational heuristic that simulates the scheduling of activities applied in a real-word hospital sector. We generate the instances from realistic data based on a subperiod of the shift with the highest patient concentration in a hospital. The results show that, in general, the exact approaches outperform the operational heuristic for all instances evaluated. In particular, Policy 3, which performs the rescheduling to a block of elapsed time, obtained the best results for most of the instances to both objectives of the problem. To the next studies, we intend to include other hospital characteristics to the proposed problem and new solution methods for the rescheduling.

Key-words: Online rescheduling. Identical parallel machines. Makespan. Total tardiness. Intrahospital sector.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DOS ATENDIMENTOS DE UM CIRCULANTE	26
FIGURA 2 – PROCESSO PARA A OBTENÇÃO DA AMOSTRA FINAL.....	29
FIGURA 3 – QUANTIDADE DE ARTIGOS POR ANO DE PUBLICAÇÃO	29
FIGURA 4 – QUANTIDADE DE ARTIGOS POR PERIÓDICO.....	30
FIGURA 5 – QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS ÀS MÁQUINAS PARALELAS	31
FIGURA 6 – QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS ÀS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO	33
FIGURA 7 - QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS AOS PRINCIPAIS OBJETIVOS DE PRODUÇÃO.....	35
FIGURA 8 – QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS AOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO.....	36
FIGURA 9 – EXEMPLO DO MÉTODO DE RESEQUENCIAMENTO.....	55
FIGURA 10 – DESVIO PERCENTUAL MÉDIO ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DAS POLÍTICAS DO MÉTODO EXATO E DA POLÍTICA 8 PARA 20 ATIVIDADES REALIZADAS	61
FIGURA 11 – DESVIO PERCENTUAL MÉDIO ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DAS POLÍTICAS DO MÉTODO EXATO E DA POLÍTICA 8 PARA 30 ATIVIDADES REALIZADAS	63
FIGURA 12 – DESVIO PERCENTUAL MÉDIO ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DAS POLÍTICAS DO MÉTODO EXATO E DA POLÍTICA 8 PARA 40 ATIVIDADES REALIZADAS	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – METAHEURÍSTICAS CLÁSSICAS UTILIZADAS PELOS TRABALHOS DA AMOSTRA.....	37
TABELA 2 – INFORMAÇÕES SOBRE OS ATENDIMENTOS INTRA-HOSPITALARES.....	53
TABELA 3 – TEMPO DECORRIDO ENTRE OS QUARTOS DO HOSPITAL	54
TABELA 4 – SOMA TOTAL DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA AS POLÍTICAS DE RESEQUENCIAMENTO PROPOSTAS	66
TABELA 5 – QUANTIDADE DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA 20 ATIVIDADES REALIZADAS	67
TABELA 6 – QUANTIDADE DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA 30 ATIVIDADES REALIZADAS	68
TABELA 7 – QUANTIDADE DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA 40 ATIVIDADES REALIZADAS	69
TABELA 8 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO, EM MÉDIA, DAS POLÍTICAS DE RESEQUENCIAMENTO PROPOSTAS.....	71
TABELA 9 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 1 E DA POLÍTICA 8.....	86
TABELA 10 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 2 E DA POLÍTICA 8.....	86
TABELA 11 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 3 E DA POLÍTICA 8.....	87
TABELA 12 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 4 E DA POLÍTICA 8.....	87
TABELA 13 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 5 E DA POLÍTICA 8.....	87
TABELA 14 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 6 E DA POLÍTICA 8.....	88
TABELA 15 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O <i>MAKESPAN</i> DA POLÍTICA 7 E DA POLÍTICA 8.....	88
TABELA 16 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 1	89

TABELA 17 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 2	89
TABELA 18 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 3	90
TABELA 19 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 4	90
TABELA 20 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 5	90
TABELA 21 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 6	91
TABELA 22 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 7	91
TABELA 23 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 8	91
TABELA 24 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 1	92
TABELA 25 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 2	92
TABELA 26 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 3	93
TABELA 27 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 4	93
TABELA 28 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 5	93
TABELA 29 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 6	94
TABELA 30 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 7	94
TABELA 31 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 8	94

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DE UM PROBLEMA DE PRODUÇÃO E UM PROBLEMA INTRA-HOSPITALAR	27
QUADRO 2 – TRABALHOS RELACIONADOS A MÁQUINAS PARALELAS IDÊNTICAS PARA A MINIMIZAÇÃO DO <i>MAKESPAN</i> E DO ATRASO TOTAL	38
QUADRO 3 – NÍVEIS DE URGÊNCIA DAS ATIVIDADES INTRA-HOSPITALARES	51
QUADRO 4 – ACRÉSCIMO DE TEMPO DE ACORDO COM O NÍVEL DE URGÊNCIA	59
QUADRO 5 – PESO NO ATRASO DA ATIVIDADE DE ACORDO COM O NÍVEL DE URGÊNCIA	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	17
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	CONCEITOS DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO	20
2.1	AMBIENTES DE PRODUÇÃO	20
2.2	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	21
2.3	INDICADORES DE OTIMIZAÇÃO DE PRODUÇÃO	22
2.4	CONCEITOS DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO.....	23
2.5	PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO APLICADO AO SETOR INTRA- HOSPITALAR.....	24
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	28
3.1	PROBLEMAS DE SEQUENCIAMENTO MULTIOBJETIVO EM MÁQUINAS PARALELAS	28
3.1.1	CRITÉRIO α : AMBIENTES DE PRODUÇÃO	30
3.1.2	CRITÉRIO β : CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	32
3.1.3	CRITÉRIO γ : INDICADORES DE OTIMIZAÇÃO DE PRODUÇÃO	34
3.1.4	MÉTODOS DE SOLUÇÃO	36
3.1.5	OTIMIZAÇÃO BIOBJETIVO: MINIMIZAÇÃO DO MAKESPAN E DA SOMA TOTAL DE ATRASOS.....	37
3.2	PROBLEMAS APLICADOS AO SETOR HOSPITALAR.....	40
3.3	TRABALHOS CORRELATOS	41
4	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA.....	43
4.1	PRESSUPOSTOS	43
4.2	NOTAÇÕES	44
4.2.1	ÍNDICES	44
4.2.2	PARÂMETROS DE ENTRADA (INTEIROS E NÃO-NEGATIVOS)	44
4.2.3	VARIÁVEIS DE DECISÃO.....	44
4.3	MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA.....	45
5	METODOLOGIA.....	48

5.1	MÉTODO DE RESEQUENCIAMENTO	48
5.2	POLÍTICAS DE RESEQUENCIAMENTO	50
5.3	EXEMPLO NUMÉRICO	53
6	RESULTADOS	57
6.1	TESTES COMPUTACIONAIS	57
6.2	ANÁLISES E DISCUSSÕES	60
6.2.1	TEMPO MÁXIMO DE CONCLUSÃO DAS ATIVIDADES	60
6.2.2	SOMA TOTAL DE ATRASOS DAS ATIVIDADES	65
6.2.3	QUANTIDADE DE ATRASOS DAS ATIVIDADES.....	67
6.2.4	TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO	70
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS	72
7	CONCLUSÃO.....	73
7.1	PROPOSTAS FUTURAS	75
7.1.1	ABORDAGEM HEURÍSTICA/METAHEURÍSTICA	75
7.1.2	APLICAÇÃO EM PROBLEMAS REAIS.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE 1	86
	APÊNDICE 2.....	89
	APÊNDICE 3.....	92

1 INTRODUÇÃO

O sequenciamento de produção possui extrema importância para a tomada de decisões no mercado atual (LEUNG et al., 2012). De modo geral, as empresas buscam não apenas minimizar os custos de produção, como também garantir o atendimento às necessidades dos clientes, sem afetar os prazos estabelecidos (ALLAHVERDI et al., 2014). Por sua vez, muitas alterações podem ocorrer em um sequenciamento de produção real, como a inserção e/ou cancelamento de tarefas, quebras ou falhas nas máquinas, novos prazos de entrega, entre outros problemas frequentemente observados em um sistema operacional (GEORGIADIS; MICHALOUDIS, 2012). Neste contexto, os gestores responsáveis por um sistema produtivo visam realizar as atividades ao longo de um horizonte de planejamento, de modo que as adversidades gerem o menor impacto e o processo de produção ocorra com maior eficiência.

O presente trabalho busca analisar um sistema de resequenciamento online de produção em máquinas paralelas idênticas, em que se analisa o *trade-off* entre dois objetivos distintos: a minimização do tempo máximo de conclusão das tarefas (*makespan*) e da soma total do atraso das atividades. O resequenciamento ocorre a cada chegada de novas atividades ao sistema, o que gera alterações no cronograma ao longo do horizonte de planejamento. Estas mudanças são consideradas dinâmicas ou online por não se conhecer, a priori, o instante das interrupções do sistema. Além disso, para garantir características de um problema prático, o tempo de *setup* depende da sequência e a data de lançamento das tarefas ao sistema são considerados no problema proposto.

O trabalho de Da Silva et al. (2019) trata-se de um estudo inicial sobre sistemas de resequenciamento online e é utilizado como motivação para o desenvolvimento desta pesquisa. No estudo em questão¹, os autores abordam um problema de resequenciamento de produção em uma única máquina com tempo de preparação das máquinas (tempo de *setup*) dependente da sequência, em que se considera a

¹ Artigo “Online single machine scheduling with setup times depending on the Jobs sequence” publicado em janeiro de 2019, no periódico *Computers & Industrial Engineering*.

inserção de novas tarefas ao longo do horizonte de planejamento, bem como a desistência de atividades consideradas a priori, com o objetivo de minimizar o *makespan*. O método de resequenciamento é aplicado por meio de uma abordagem exata e os resultados obtidos são comparados com heurísticas operacionais, comumente utilizadas na prática. Deste modo, busca-se realizar alguns ajustes à medida que as novas informações são reveladas e, assim, aprofundar o estudo das decisões de programação em tempo real, realizando uma análise empírica de diferentes abordagens para lidar com imprevistos e seu impacto no tempo máximo de produção.

O problema abordado neste trabalho será aplicado em um setor intra-hospitalar, onde: I) as tarefas serão os atendimentos aos pacientes; II) as máquinas paralelas idênticas serão os enfermeiros responsáveis pelas atividades; e III) o resequenciamento será o pedido de transporte dos pacientes entre locais dentro do hospital ao longo de um período. Deste modo, esta pesquisa tem o objeto de otimizar a sequência de trabalho dos profissionais da saúde, sem afetar demasiadamente a espera pelo atendimento aos pacientes. Para o método de resequenciamento proposto, sete políticas exatas foram criadas e comparadas com uma política utilizada em um sistema intra-hospitalar real, denominada heurística operacional. Com base nestas políticas, busca-se avaliar o impacto de um resequenciamento em relação aos objetivos do problema proposto. De acordo com a revisão de literatura realizada, nenhum trabalho, até o presente momento, utiliza o método de resequenciamento para analisar um sistema intra-hospitalar dinâmico em que os novos atendimentos aos pacientes são alocados de acordo com seu nível de urgência.

A principal contribuição deste trabalho refere-se à aplicação prática do problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas para o setor intra-hospitalar. Assim, a criação de políticas de resequenciamento permite analisar as mudanças ocorridas em um sequenciamento prévio, minimizando o impacto das alterações realizadas ao longo de um período, de modo a garantir a melhor rota de trabalho aos enfermeiros e o menor tempo de espera aos pacientes. De acordo com os testes computacionais, observa-se que as políticas exatas encontram resultados dominantes aos da heurística operacional e a Política 3, que realiza um resequenciamento a partir de um intervalo de tempo decorrido, apresenta os melhores resultados na maioria dos conjuntos de testes avaliados.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto do resequenciamento biobjetivo online em máquinas paralelas idênticas aplicado ao setor intra-hospitalar, de modo a garantir a minimização do tempo máximo de trabalho dos enfermeiros e, simultaneamente, da soma total de atrasos dos atendimentos aos pacientes, de acordo com a chegada de novas atividades e seus níveis de urgência.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Encontrar as lacunas existentes na literatura em relação aos problemas de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas, assim como em problemas aplicados ao setor hospitalar;
- Descrever o problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas para uma aplicação no setor intra-hospitalar, em que os atendimentos aos pacientes (tarefas) devem ser realizados pelos enfermeiros (máquinas);
- Implementar um método e políticas de resequenciamento para o problema aplicado ao setor intra-hospitalar, a partir da chegada de novas atividades, de acordo com o nível de urgência de cada atendimento;
- Analisar o impacto do resequenciamento de políticas que utilizam a abordagem exata em relação à heurística operacional para os objetivos do problema proposto.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

De modo geral, os problemas encontrados na literatura assumem que todas as informações necessárias para realizar um sequenciamento são conhecidas no início do processo produtivo. Todavia, em casos reais, estas informações nem sempre são definidas a priori. Neste trabalho, busca-se avaliar qual a melhor política de

resequenciamento de acordo com os objetivos do problema intra-hospitalar, a partir da chegada de novas atividades e seus níveis de urgência.

Deste modo, a importância do presente trabalho se deve a inovação de se desenvolver um sistema dinâmico aplicado ao setor intra-hospitalar, para se avaliar as mudanças no sequenciamento previamente estabelecido, de modo a gerar o menor impacto nos objetivos do problema proposto.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas é considerado *NP-Hard* (GAREY; JOHNSON, 1990). Assim, para o caso biobjetivo, torna-se ainda mais difícil obter uma solução ótima para problemas de grande porte. Deste modo, os testes computacionais se limitam a realizar um resequenciamento online aplicado ao setor intra-hospitalar com apenas 40 atividades. Problemas com um número maior de atividades consomem um excessivo tempo computacional ou, ainda, são impossibilitados pelas limitações de recursos computacionais.

Outro ponto que envolve limitações do presente trabalho trata-se do desenvolvimento do problema abordado para uma plataforma online. As políticas de resequenciamento propostas são aplicadas no setor intra-hospitalar por meio de uma simulação, a partir de conjuntos de dados realísticos do problema. Sendo assim, esta metodologia utiliza apenas o caráter online da chegada de novos pedidos, ou seja, não está disponibilizada em uma plataforma online para utilização.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

- CAPÍTULO 2: descreve-se, brevemente, os principais conceitos referentes ao sequenciamento de produção e define-se otimização multiobjetivo. Em seguida, descreve-se as características de um problema de sequenciamento aplicado ao setor intra-hospitalar.

- CAPÍTULO 3: apresenta-se uma breve revisão de literatura sobre o tema. A princípio, analisam-se os problemas de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas. Em um segundo momento, avaliam-se os problemas aplicados ao setor hospitalar. Por fim, identificam-se trabalhos correlatos ao problema abordado.

- CAPÍTULO 4: propõe-se a formulação matemática, por meio de um modelo de Programação Linear Inteira Mista.

- CAPÍTULO 5: apresenta-se o método e as políticas de resequenciamento, a partir da chegada de novas atividades e seus níveis de urgência. Além disso, elabora-se um exemplo numérico para maiores esclarecimentos sobre o método de resequenciamento proposto.

- CAPÍTULO 6: realizam-se os testes computacionais, a partir de dados realísticos criados para o presente trabalho. Os resultados obtidos são apresentados, analisados e discutidos neste capítulo.

- CAPÍTULO 7: ressaltam-se as principais contribuições deste trabalho e descrevem-se as propostas para a continuidade desta pesquisa.

2 CONCEITOS DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO

O sequenciamento de produção é um dos principais processos de tomada de decisão aplicados no setor industrial (PINEDO, 2008). De modo geral, o sequenciamento de produção busca determinar a ordem em que as tarefas são executadas e o instante em que estas tarefas devem iniciar o seu processamento (BAKER; TRIETSCH, 2009).

De acordo com a classificação de Graham et al. (1979), um problema de sequenciamento de produção é definido com base em três campos, denominados $\alpha||\beta||\gamma$; onde α denota o ambiente de produção selecionado, β descreve características referentes às tarefas ou às máquinas e γ indica a função objetivo do problema. Além disso, o campo γ pode definir uma função com um único objetivo ou multiobjetivo.

Este capítulo apresenta os principais conceitos de sequenciamento de produção para cada campo da notação clássica de Graham et al. (1979) e, em seguida, descreve as abordagens para um problema de otimização multiobjetivo. Por fim, define-se o problema de sequenciamento aplicado ao setor intra-hospitalar.

2.1 AMBIENTES DE PRODUÇÃO

Em problemas de sequenciamento de produção, consideram-se os cinco ambientes a seguir:

- Uma única máquina (*Single Machine*): todas as tarefas são executadas em uma única máquina, de acordo com uma sequência estabelecida. Além disso, o ambiente de uma única máquina pode ser considerado um caso especial dos próximos ambientes de produção (PINEDO, 2008).
- Máquinas paralelas (*Parallel Machines*): no sequenciamento em máquinas paralelas, duas decisões devem ser avaliadas. A primeira refere-se à designação das tarefas a uma das máquinas (*dispatching*) e a segunda determina a sequência das tarefas em cada máquina (*sequencing*) (BERRICHI et al., 2009). Além disso, três

categorias de máquinas paralelas são comumente encontradas na literatura: idênticas (P_m), uniformes (Q_m) e não-relacionadas (R_m).

As máquinas paralelas idênticas possuem o mesmo tempo de processamento para cada tarefa. No caso uniforme, as máquinas operam em velocidades diferentes. Por sua vez, as máquinas paralelas não-relacionadas possuem tempos de processamento distintos para cada tarefa (ALLAHVERDI; SOROUSH, 2008).

- *Flow Shop* (F_m): neste ambiente, define-se uma sequência, da máquina 1 até a máquina k , de modo que as tarefas sejam processadas uma única vez em cada máquina, de acordo com a rota pré-determinada (JUNGWATTANAKIT et al., 2008).

- *Job Shop* (J_m): em um ambiente *job shop*, as tarefas apresentam sua própria ordem de processamento através das máquinas, ou seja, cada tarefa possui uma rota específica (BLAZEWICZ et al., 1996).

- *Open Shop* (O_m): o *open shop* se diferencia dos ambientes *flow shop* e *job shop* por não existirem restrições específicas quanto a ordem em que as tarefas são processadas (GONZALEZ; SAHNI, 1976).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Na maioria dos problemas de sequenciamento de produção, as características de um sistema envolvem alguma particularidade referente às tarefas que serão efetuadas ou às máquinas disponíveis para o procedimento. As principais características do sistema de produção são definidas abaixo:

- Tempo de preparação da máquina ou tempo de *setup* entre as tarefas: em um sistema fabril, o tempo de preparação da máquina consiste no tempo utilizado em uma atividade (limpeza, reparação, entre outras) que leva ao próximo passo do processo de produção (TAVAKKOLI-MOGHADDAM et al., 2009).

O tempo de preparação da máquina é dividido em duas categorias: independente da sequência (s_j) e dependente da sequência (s_{ij}). No primeiro caso, o tempo utilizado para realizar uma atividade não depende da ordem de execução das tarefas. Por outro lado, o tempo dependente da sequência considera que a ordem de processamento das tarefas pode interferir no tempo utilizado para a preparação da máquina (BOZORGIRAD; LOGENDRAN, 2012).

- Instante de chegada ou data de lançamento das tarefas (r_j): esta característica ocorre quando nem todas as tarefas estão disponíveis no início do sequenciamento de produção. Deste modo, considera-se que o sistema possui datas de lançamento distintas para as tarefas (CIAVOTTA et al., 2009).

- Elegibilidade da máquina (M_j): a elegibilidade da máquina determina se existem restrições de processamento em alguma máquina. Em caso afirmativo, deve-se elencar as tarefas que não podem ser processadas nesta máquina (NADERI-BENI et al., 2014).

- Preempção das tarefas ($prmp$): a interrupção no processamento de alguma tarefa, antes da sua finalização, é definida como preempção. Caso esta característica seja considerada no problema, pode-se interromper a tarefa em qualquer momento de sua execução e retomá-la posteriormente (MOHRI et al., 1999).

- Processamento das tarefas em lotes (*batch*): ocorre quando uma máquina executa, simultaneamente, mais do que uma tarefa (JIA et al., 2017). Os tempos de processamento das tarefas em um lote não são necessariamente iguais, portanto, o lote é concluído quando a tarefa de maior tempo de processamento é finalizada.

2.3 INDICADORES DE OTIMIZAÇÃO DE PRODUÇÃO

Além da classificação dos ambientes produtivos e das características presentes no processo de manufatura, pode-se avaliar indicadores de otimização de produção. Os principais critérios de otimização são:

- Tempo máximo de conclusão das tarefas ou *makespan* (C_{max}): o tempo máximo de conclusão de todas as tarefas representa o instante de término da última tarefa a ser processada (LI et al., 2012a).

- Tempo total de conclusão das tarefas ($\sum C_j$) e tempo total ponderado de conclusão das tarefas ($\sum w_j C_j$): referem-se, simultaneamente, à soma do tempo de conclusão de todas as tarefas e à soma ponderada do tempo de conclusão de todas as tarefas (BAKER; TRIETSCH, 2009).

- Atraso das tarefas (*tardiness*): o atraso de uma tarefa é definido como a diferença entre o instante de término desta tarefa e a previsão de sua data de entrega,

caso este valor seja positivo (SCHALLER, 2009). Caso contrário, o atraso é igual a zero. Os atrasos podem ser classificados como: atraso máximo (T_{max}), atraso total ($\sum T_j$) e atraso total ponderado ($\sum w_j T_j$).

- Antecipação das tarefas (*earliness*): a antecipação de uma tarefa é dada pela diferença entre a data de entrega desta tarefa e o seu instante de término, caso seja concluída antes da data de entrega estipulada. Caso contrário, assume-se valor nulo (BAKER; TRIETSCH, 2009). As antecipações podem ser classificadas como: antecipação máxima (E_{max}), antecipação total ($\sum E_j$) e antecipação total ponderada ($\sum w_j E_j$).

- *Lateness*: este critério de otimização representa a diferença entre o instante de término de uma tarefa e sua data de entrega (SABOUNI et al., 2010). Assim como nos casos de atraso e antecipação das tarefas, o *lateness* pode ser classificado como: *lateness* máximo (L_{max}), *lateness* total ($\sum L_j$) e *lateness* total ponderado ($\sum w_j L_j$).

- Número de Tarefas Atrasadas (U_j): o número de tarefas atrasadas representa a quantidade de tarefas que não cumprem o prazo de entrega previsto (PINEDO, 2008).

2.4 CONCEITOS DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO

Muitos problemas de sequenciamento de produção apresentam mais do que um objetivo em sua formulação. Muitas vezes, esses objetivos possuem características conflitantes entre si ou até mesmo distintas, como minimizar o “número de itens atrasados” e o “custo de produção”. Diversas abordagens podem ser aplicadas em problemas multiobjetivo. Segundo Leung et al. (2012), as cinco principais propostas são descritas a seguir:

- I. Combinação linear dos objetivos;
- II. Método hierárquico ou lexicográfico;
- III. Substituição dos objetivos por restrições;
- IV. Análise das soluções ótimas de Pareto;
- V. Análise multiobjetivo.

Na proposta I, uma única função objetivo é construída por meio de uma combinação linear de todos os objetivos do problema. Em II, os objetivos são

selecionados de acordo com o seu nível de prioridade: primeiro, minimiza-se o objetivo de maior impacto; em seguida, o próximo objetivo; e assim por diante (GUPTA; RUIZ-TORRES, 2005). Na terceira abordagem, mantém-se apenas um dos objetivos na função e o restante é substituído por restrições correspondentes.

Em IV, busca-se um conjunto de soluções ótimas, denominado fronteira ótima de Pareto, que corresponde ao conjunto de pontos não-dominados (BAESLER; PALMA, 2014). Em problemas de otimização biobjetivo, tem-se que x domina y ($x < y$) se $f_1(x) \leq f_1(y)$ e $f_2(x) < f_2(y)$ (ou $f_1(x) < f_1(y)$ e $f_2(x) \leq f_2(y)$), para quaisquer dois vetores x e y (BERRICHI et al., 2009).

Por fim, a proposta V busca, primeiramente, as soluções dos objetivos isolados e, com um valor de referência encontrado para cada objetivo, procura aproximações para todos os objetivos simultaneamente (LEUNG et al., 2012).

2.5 PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO APLICADO AO SETOR INTRA-HOSPITALAR

Com o aumento da expectativa de vida e o crescimento dos cuidados preventivos, torna-se necessário encontrar estratégias para reduzir os custos operacionais no setor de saúde, sem afetar os serviços prestados à população (GRANJA et al., 2014). O presente trabalho busca realizar um sequenciamento de atividades intra-hospitalares com o objetivo de otimizar, simultaneamente, o dia de trabalho dos funcionários de um hospital e o atendimento aos pacientes. Para o desenvolvimento desta pesquisa, alguns conceitos devem ser definidos para o problema proposto. A seguir, apresenta-se a definição das principais características do problema de sequenciamento aplicado ao setor intra-hospitalar que serão utilizadas deste ponto em diante:

- Turno: representa o período do dia em que os funcionários do hospital são escalados. Nesta pesquisa, considera-se que o dia de trabalho em um hospital é dividido em três turnos de 8 horas.
- Atendimento aos pacientes: são as atividades designadas aos profissionais da saúde. Cada atendimento é considerado uma nova atividade, ou seja, levar e buscar um paciente correspondem a duas atividades distintas.

- Circulantes: são os funcionários encarregados de transportar macas, equipamentos e pacientes dentro do complexo hospitalar. Assume-se que todos os circulantes levam o mesmo tempo para a execução de uma atividade, o que pode ser associado a um ambiente de máquinas paralelas idênticas.

- Quartos: são os espaços físicos em que os pacientes aguardam ou são atendidos. Alguns quartos possuem mais do que um leito, ou seja, podem receber mais do que um paciente por vez. Além disso, os quartos são distribuídos em diversas alas hospitalares, o que permite atribuir distâncias entre essas localidades.

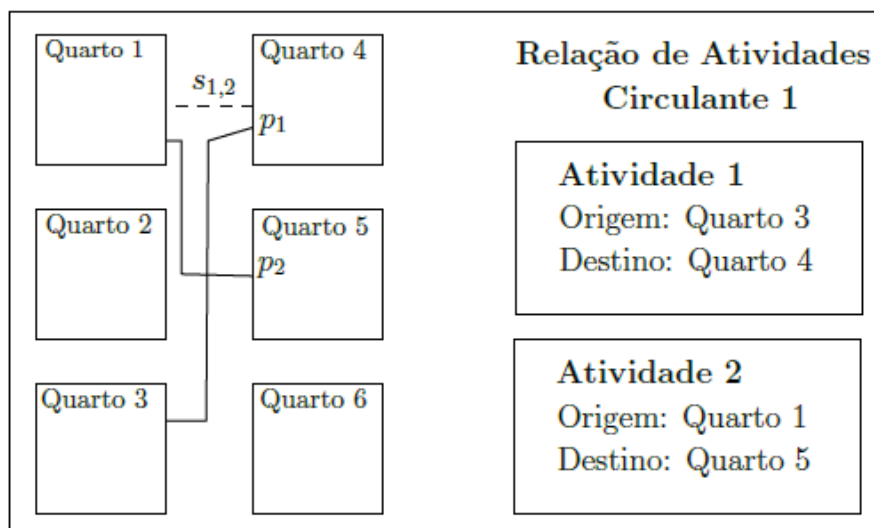
As distâncias entre os quartos de um hospital são importantes para a tomada de decisão dos circulantes em relação à próxima atividade que será realizada, já que o tempo máximo de atendimento é um dos critérios de otimização do presente trabalho. Desta forma, existem dois tempos previstos para a realização de uma atividade que podem auxiliar esta escolha dos circulantes: o tempo de acesso do circulante à atividade e o tempo de execução da atividade.

O tempo de acesso do circulante à atividade se refere ao tempo decorrido entre o fim do atendimento anterior e o início de uma próxima atividade. Por sua vez, o tempo de execução da atividade é o tempo decorrido entre o início e o fim de um mesmo atendimento. O tempo de acesso do circulante à atividade e o tempo de execução da atividade são características relacionadas, respectivamente, ao tempo de *setup* entre as tarefas e tempo de processamento da tarefa em um sistema de produção. Assim, pode-se observar que o tempo de acesso do circulante à atividade depende de qual atendimento foi realizado anteriormente, ou seja, depende da sequência estabelecida. Por outro lado, o tempo de execução da atividade é idêntico para todos os circulantes disponíveis, conforme definido anteriormente.

A FIGURA 1 apresenta um exemplo de atividades designadas a um circulante, onde s_{ij} representa o tempo de acesso do circulante da atividade i para a j e p_j é o tempo de execução da atividade j . Neste exemplo, o primeiro atendimento trata-se de uma atividade que tem origem no Quarto 3 e destino no Quarto 4. Portanto, o tempo de execução da Atividade 1 é $p_1 = d(\text{origem}_{\text{Atividade 1}}, \text{destino}_{\text{Atividade 1}}) = d(\text{Quarto 3}, \text{Quarto 4})$; onde $d(\text{Quarto 3}, \text{Quarto 4})$ é a distância entre os quartos 3 e 4, respectivamente. Para a realização do próximo atendimento, o circulante deve, primeiramente, acessar o quarto de origem da segunda atividade (Quarto 1). Assim, antes da execução deste atendimento, calcula-se o tempo de acesso do circulante

entre as atividades 1 e 2, ou seja, $s_{12} = d(\text{destino}_{\text{Atividade 1}}, \text{origem}_{\text{Atividade 2}}) = d(\text{Quarto 4}, \text{Quarto 1})$; onde $d(\text{Quarto 4}, \text{Quarto 1})$ é a distância entre os quartos 4 e 1. Em seguida, o tempo de execução da Atividade 2 é calculado, e assim por diante.

FIGURA 1 – EXEMPLO DOS ATENDIMENTOS DE UM CIRCULANTE



FONTE: A autora (2020).

Outras características do problema proposto são a data de liberação para o atendimento ao paciente e o prazo de finalização deste atendimento. A data de liberação para o atendimento trata-se do instante de tempo em que o paciente chega ao hospital para ser atendido ou, no caso de pacientes que já estejam instalados em leitos do hospital, é o momento em que estes pacientes são levados para outros quartos. Por sua vez, o prazo de finalização do atendimento é uma data considerada aceitável para terminar uma atividade. Após este prazo, a atividade recebe uma penalização devido ao atraso gerado. Em resumo, o QUADRO 1 destaca as principais características do problema de sequenciamento aplicado ao setor intra-hospitalar e relaciona tais características com conceitos de um sistema de produção.

Além de avaliar as características de um sequenciamento intra-hospitalar, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o grau de prioridade dos atendimentos aos pacientes, ou seja, deve-se verificar o nível de urgência de cada atividade, a partir de sua chegada ao sistema. Esta característica dinâmica torna o problema ainda mais complexo, já que as atividades classificadas como urgentes ou prioritárias podem interromper o sequenciamento previamente estabelecido e alterar o cronograma inicial. O problema é denominado, neste caso, um sequenciamento online aplicado ao setor intra-hospitalar.

QUADRO 1 – RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DE UM PROBLEMA DE PRODUÇÃO E UM PROBLEMA INTRA-HOSPITALAR

PROBLEMA DE PRODUÇÃO	PROBLEMA INTRA-HOSPITALAR
Tarefas	Atividades de atendimento aos pacientes
Máquinas	Circulantes
Tempo de <i>setup</i> entre as tarefas	Tempo de acesso do circulante entre as atividades imediatamente antecessoras e sucessoras entre si
Tempo de processamento da tarefa	Tempo de execução da atividade
Data de lançamento da tarefa ao sistema	Data de liberação para o atendimento ao paciente
Prazo de entrega da tarefa	Prazo para a finalização do atendimento

FONTE: A autora (2020).

Por fim, definem-se os objetivos do problema proposto. O primeiro objetivo busca minimizar o tempo máximo de conclusão das atividades, de modo a otimizar as rotas efetuadas pelos circulantes. Enquanto o segundo objetivo visa minimizar os atrasos das atividades, com o propósito de se obter maior qualidade no atendimento aos pacientes. Desta forma, uma solução que busque o *trade-off* entre os objetivos do problema pode garantir maior satisfação das pessoas envolvidas neste processo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Os problemas de sequenciamento de produção têm sido amplamente abordados na literatura nas últimas décadas. Este capítulo apresenta, primeiramente, uma análise da produção científica sobre problemas de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas e, em seguida, uma revisão sobre problemas aplicados no setor hospitalar. Por fim, identificam-se os trabalhos correlatos ao problema proposto.

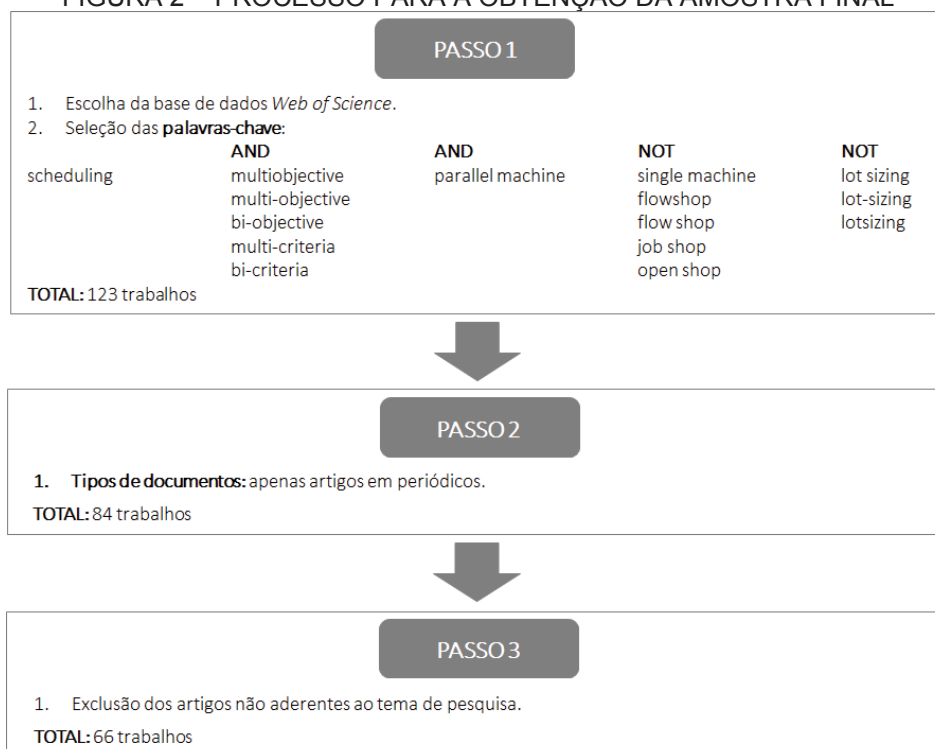
3.1 PROBLEMAS DE SEQUENCIAMENTO MULTIOBJETIVO EM MÁQUINAS PARALELAS

Uma das áreas mais promissoras da otimização multiobjetivo está relacionada aos problemas de sequenciamento de produção, em especial, ao sequenciamento em máquinas paralelas. A revisão de literatura desta pesquisa busca classificar os trabalhos de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas com base nos três campos da notação clássica de Graham et al. (1979) e em relação aos métodos de solução aplicados ao problema. Em seguida, realiza-se uma análise dos trabalhos sobre o problema $P_m || s_{ij}, r_j || C_{max}, \sum T_j$, com o objetivo de avaliar as contribuições do presente estudo.

Primeiramente, realizou-se a coleta de dados e a seleção dos trabalhos da amostra. Para a coleta de dados, utilizou-se a base de dados *Web of Science (WoS)* entre os anos de 1997 a 2019. Em seguida, definiu-se a seleção dos trabalhos da amostra pela identificação das palavras-chave e pelos tipos de documentos publicados.

A partir da identificação das palavras-chave, obteve-se um total de 123 publicações indexadas na base de dados. Destas publicações, considerou-se apenas artigos publicados em periódicos, resultando em 84 trabalhos. Em seguida, após uma análise prévia dos trabalhos selecionados e exclusão de artigos não aderentes ao tema de pesquisa, obteve-se uma amostra final de 66 artigos. A FIGURA 2 ilustra os passos referentes à coleta de dados e seleção da amostra final.

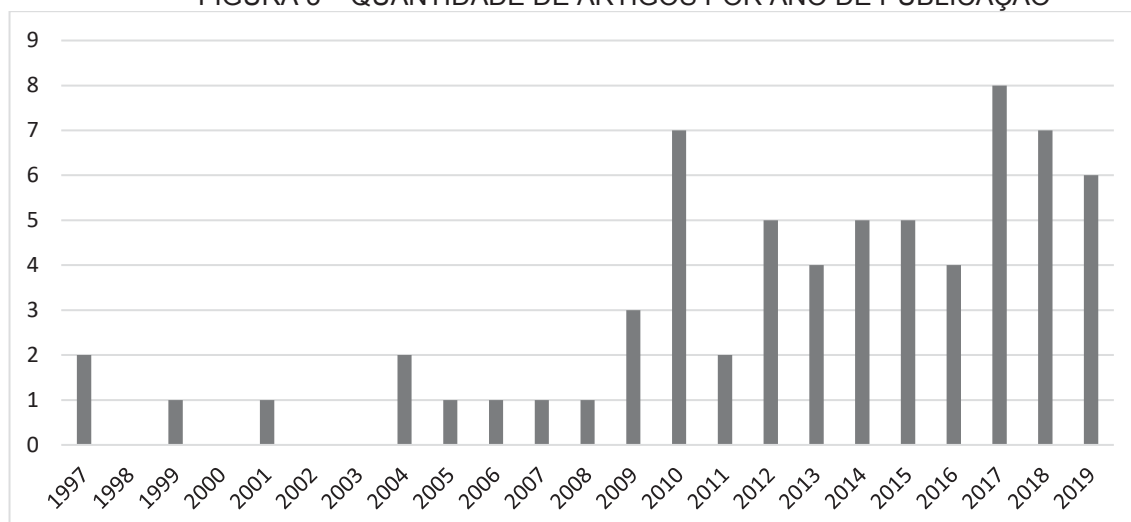
FIGURA 2 – PROCESSO PARA A OBTENÇÃO DA AMOSTRA FINAL



FONTE: A autora (2020).

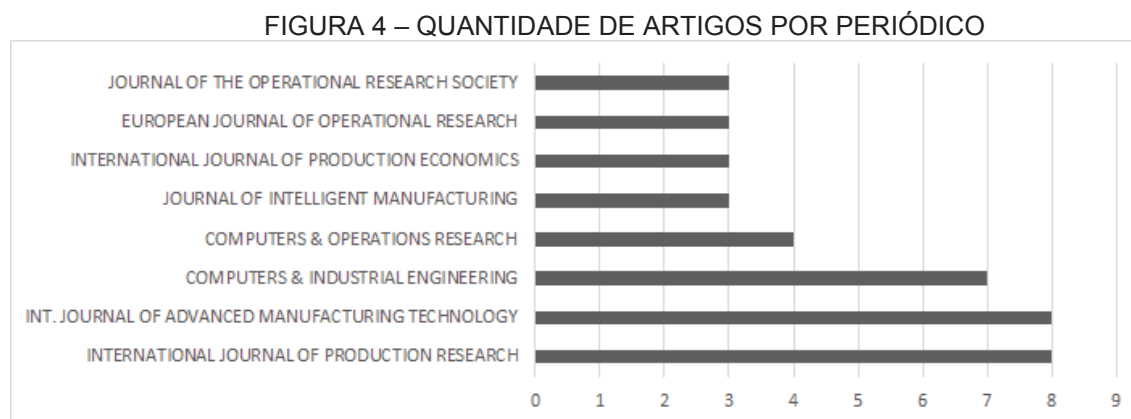
De acordo com a amostra final, verifica-se que a área de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas está em crescente desenvolvimento. Os primeiros trabalhos foram publicados no ano de 1997, por Rajkumar e Narendran (1997) e Ruiz-Torres et al. (1997). Ademais, nota-se que houve um acréscimo na quantidade de publicações sobre o tema, principalmente a partir do ano de 2010, conforme observado na FIGURA 3.

FIGURA 3 – QUANTIDADE DE ARTIGOS POR ANO DE PUBLICAÇÃO



FONTE: A autora (2020).

Por sua vez, a análise que se refere à quantidade de artigos publicados por periódico pode destacar as revistas que possuem maior relevância nesta área de pesquisa. A FIGURA 4 destaca os principais periódicos indexados à base de dados WoS que possuem artigos da amostra.



FONTE: A autora (2020).

Os periódicos que possuem o maior número de publicações sobre o tema são *International Journal of Production Research* e *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, com 8 publicações cada. Os periódicos citados na FIGURA 4 são referência na área de sequenciamento de produção e podem ser utilizados para nortear pesquisas futuras sobre este tema de pesquisa.

3.1.1 Critério α : ambientes de produção

A primeira análise tem como objetivo avaliar a quantidade de trabalhos em relação às três categorias de máquinas paralelas. De acordo com a amostra obtida, nota-se a predominância de trabalhos referentes às máquinas paralelas idênticas (55% ou 36 trabalhos), seguidos por publicações sobre máquinas paralelas não-relacionadas ou não-idênticas (36% ou 24 trabalhos) e máquinas uniformes (9% ou 6 trabalhos), conforme apresentado na FIGURA 5.

O ambiente de máquinas paralelas idênticas apresenta o maior número de publicações, sendo que muitos destes artigos se referem a problemas aplicados. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Rajkumar e Narendran (1997), que realizaram o carregamento de placas de circuito impresso por meio de um problema biobjetivo em máquinas paralelas idênticas. Ruiz-Torres et al. (2008) desenvolveram uma pesquisa em que um dos objetivos é minimizar o custo de terceirização das máquinas paralelas. Na pesquisa de Ciavotta et al. (2009), os autores utilizaram um

problema multiobjetivo para realizar um sequenciamento em fábricas de produtos farmacêuticos. Por sua vez, Baesler e Palma (2014) apresentaram um algoritmo multiobjetivo para o problema de máquinas paralelas idênticas de uma indústria madeireira. Ruiz-Torres et al. (2018) abordaram um problema em que os pedidos são atribuídos às células de montagem e, assim que finalizados, são enviados diretamente aos clientes em regiões geográficas distintas. Neste caso, os objetivos são minimizar os custos de produção e transporte, assim como o número de entregas atrasadas.

FIGURA 5 – QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS ÀS MÁQUINAS PARALELAS



FONTE: A autora (2020).

Por sua vez, as máquinas paralelas não-relacionadas são consideradas o ambiente mais próximo ao ocorrido em sistemas reais. O trabalho de Van Hop e Nagarur (2004), por exemplo, busca sequenciar placas de circuito impresso em múltiplas máquinas paralelas não-idênticas. Em Afzalirad e Rezaeian (2017), minimiza-se, simultaneamente, o tempo de fluxo médio ponderado e o atraso médio ponderado para um problema de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas. Os autores consideram características como o tempo de preparação das máquinas dependente da sequência, datas de lançamento das tarefas, elegibilidade das máquinas e restrições de precedência, para que este problema possua características de um estaleiro. De modo análogo, Shahvari e Logendran (2017) consideram datas de lançamento das tarefas, elegibilidade/capacidade das máquinas, capacidade dos lotes, tempo de preparação das máquinas dependente da sequência e diferentes níveis de habilidade dos operadores, de modo a aproximar o problema proposto às situações práticas encontradas nas indústrias. Zheng e Wang

(2018) desenvolveram um problema, conhecido como Problema de Sequenciamento de Produção Verde (*Green Manufacturing Scheduling Problem*), com o objetivo de minimizar o *makespan* e a emissão total de carbono. O Problema de Sequenciamento Verde tem recebido crescente atenção nesta área de pesquisa, já que permite que as indústrias obtenham alta eficiência energética com baixa emissão de carbono. Em Pan et al. (2018) foi desenvolvido um *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA), com o objetivo de minimizar o atraso total e o consumo total de energia. Por sua vez, Tigane et al. (2019) buscam minimizar o *makespan* e o consumo total de energia, com o objetivo de diminuir os impactos ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis.

Além dos ambientes supracitados, pode-se considerar uma terceira categoria em máquinas paralelas, denominada máquinas paralelas uniformes. No trabalho de Setämaa-Kärkkäinen et al. (2006), busca-se desenvolver uma formulação matemática para problemas envolvendo conexões de redes sem fio, com o objetivo de minimizar o tempo total de comunicação e custos totais de transmissão. Após a construção do modelo citado anteriormente, Setämaa-Kärkkäinen et al. (2007) utilizaram uma Busca Local para obter soluções para o problema. Já em Huang e Liao (2012), considera-se a minimização do atraso total, tempo de fluxo total, desequilíbrio da carga de trabalho da máquina e maximização do rendimento total para fabricação de placas de alumínio. Em Pakzad-Moghaddam (2016), desenvolveu-se uma adaptação do *Particle Swarm Optimization* (PSO) para minimizar o *makespan* e a contratação de máquinas ao longo do processo produtivo. Em relação ao Problema de Sequenciamento Verde, Safarzadeh et al. (2019) criaram um modelo matemático que visa minimizar o *makespan* e o custo total para se obter produções mais sustentáveis. Por sua vez, Zandi et al. (2019) formularam um modelo para o Problema de Sequenciamento Verde com o objetivo de minimizar o consumo de energia e o tempo total de conclusão das tarefas.

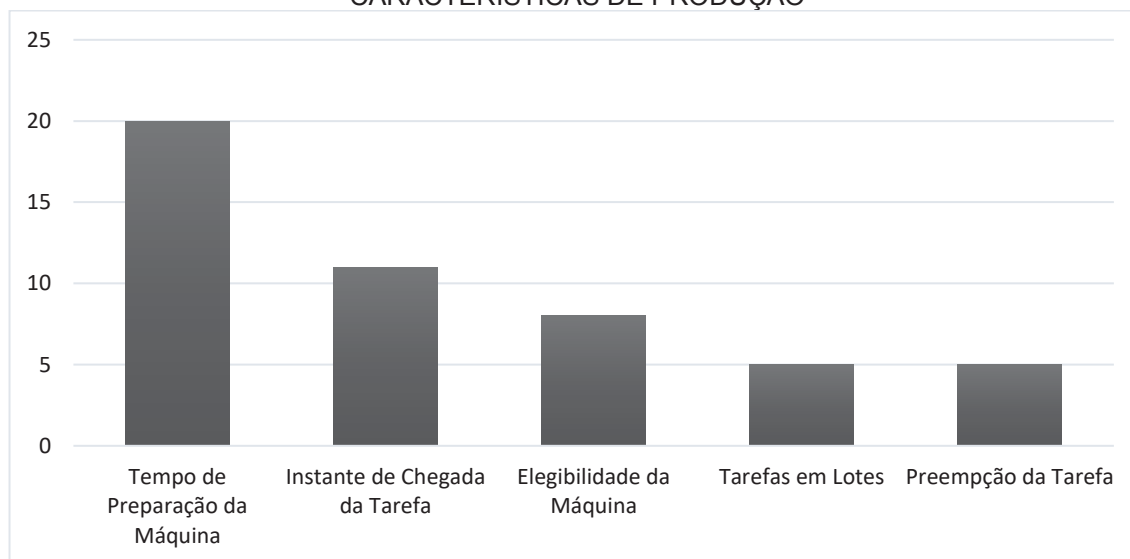
3.1.2 Critério β : características do sistema de produção

Quando pretende-se aproximar situações teóricas daquelas encontradas em ambientes industriais, muitas características podem ser associadas às máquinas ou aos itens a serem processados. Sistemas de produção possuem inúmeras destas características, responsáveis por influenciar a execução dos pedidos e, por fim, o sequenciamento encontrado.

A FIGURA 6 retrata as principais características encontradas nos problemas de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas. Nota-se que o tempo de preparação das máquinas ou tempo de *setup* é a principal característica desta área de pesquisa (20 trabalhos). O tempo de *setup* representa o tempo necessário para a preparação de um recurso que realizará alguma operação. Consequentemente, a redução do tempo de *setup* pode auxiliar na contenção de despesas, aumento de produção, menor estoque, entregas mais rápidas e no prazo estipulado, maior competitividade e satisfação dos clientes (ALLAHVERDI; SOROUSH, 2008).

Um ponto a ser ressaltado, deve-se ao fato de que apenas um dos trabalhos encontrados (SABOUNI et al., 2010) refere-se a problemas com tempo de preparação das máquinas independente da sequência estabelecida. Portanto, a maioria dos trabalhos com esta característica, realiza o tempo de *setup* de acordo com a ordenação das tarefas (dependente da sequência), ou seja, analisa-se a tarefa imediatamente anterior àquela que será efetuada e escolhe-se a tarefa que melhor se adapta a esta posição, obtendo-se assim a solução ótima para o sequenciamento.

FIGURA 6 – QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS ÀS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO



FONTE: A autora (2020).

Muitos trabalhos ainda ignoram o tempo de preparação das máquinas, o que impacta negativamente na qualidade da solução e torna o modelo inaplicável em ambientes reais (TAVAKKOLI-MOGHADDAM et al., 2009). Isto ressaltava que o tempo de *setup* dependente da sequência está diretamente ligado às necessidades encontradas no setor industrial (BEHNAMIAN et al., 2011). Por exemplo, em um setor

de tinturaria, a troca de coloração requer um tempo de limpeza da máquina. Nestes casos, o tempo de preparação para a aplicação de uma nova cor depende da cor antecessora. No setor farmacêutico, o tempo de preparação da máquina é necessário para evitar a contaminação dos próximos medicamentos a serem fabricados. Analogamente, é preciso realizar uma limpeza das máquinas na indústria alimentícia para não ocorrer a contaminação de alimentos.

Outra característica que, cada vez mais, tem sido encontrada em pesquisas multiobjetivo, refere-se ao instante de chegada ou data de lançamento das tarefas (11 trabalhos). A maioria dos trabalhos encontrados na literatura ainda considera que todas as tarefas estão disponíveis para serem processadas no instante zero, o que não acontece, de fato, em problemas reais. Nas situações práticas, o instante de chegada das tarefas, assim como a disponibilidade das máquinas, deve possuir caráter dinâmico (BOZORGIRAD; LOGENDRAN, 2012).

Além das características supracitadas, podemos elencar algumas outras relevantes na pesquisa, como elegibilidade da máquina (8 trabalhos), preempção da tarefa (5 trabalhos) e sequenciamento de tarefas em lotes (5 trabalhos).

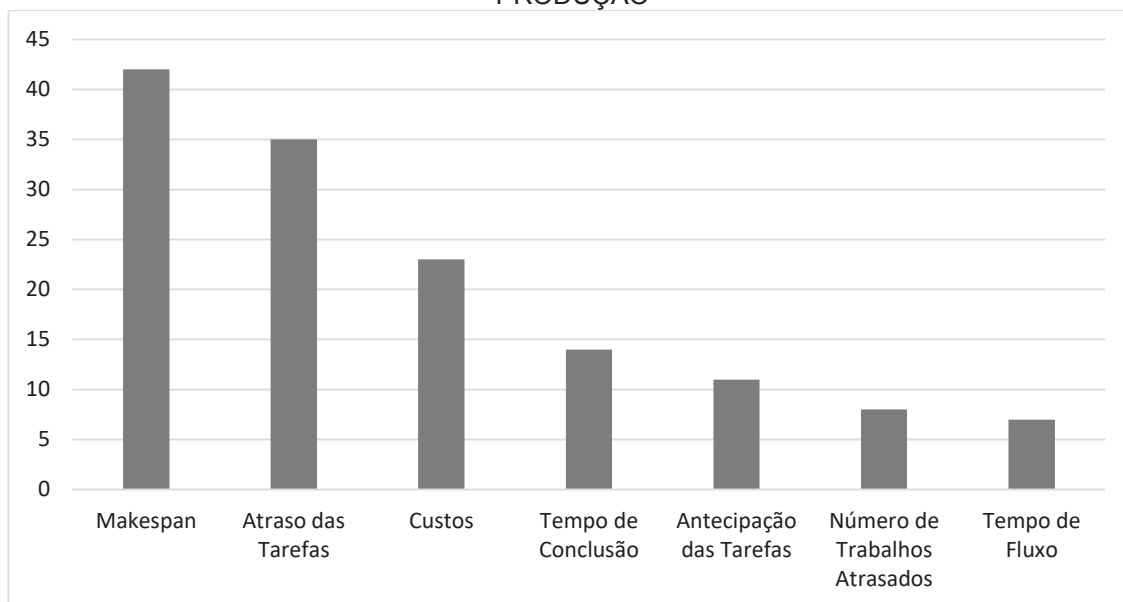
3.1.3 Critério γ : indicadores de otimização de produção

Devido à grande competitividade do mercado atual, torna-se necessário otimizar os processos de produção de acordo com as prioridades do ambiente fabril. Um dos principais indicadores de otimização trata-se da minimização do tempo máximo de conclusão das tarefas, também conhecido como *makespan*, que tem o objetivo de finalizar as tarefas de um sequenciamento no menor tempo possível (RAJKUMAR; NARENDRAN, 1997; GAO, 2010; LIU; TSAI, 2016; HUO, 2019). Dentre os artigos analisados, 42 trabalhos se referem a este objetivo, conforme pode-se observar na FIGURA 7.

Outro ponto de suma importância em um sequenciamento de produção se deve à realização de um cronograma que procure evitar antecipações ou atrasos nos pedidos dos clientes. Para isto, emprega-se a filosofia *just-in-time*, na qual um item é entregue exatamente quando é solicitado pelo cliente (BEHNAMIAN et al. (2011)). Caso contrário, pode-se gerar deterioração do produto, custos de estoque, descontentamento e, até mesmo, perda de clientes (KAYVANFAR et al. (2017)). A minimização do atraso das tarefas ou *tardiness* é o segundo objetivo mais encontrado

nos trabalhos analisados (35 trabalhos), dentre os quais 18 referem-se ao *tardiness* total, 13 abordam o *tardiness* ponderado e 4 retratam o *tardiness* máximo.

FIGURA 7 - QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS AOS PRINCIPAIS OBJETIVOS DE PRODUÇÃO



FONTE: A autora (2020).

Além da satisfação dos clientes, um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas está relacionado a redução do custo de produção (LIU; TSAI, 2016). Sendo assim, este objetivo tem se expandido em pesquisas de otimização multiobjetivo, com 23 trabalhos que abordam diversos custos em um sistema produtivo. Custo para terceirização (RUIZ-TORRES et al., 2008) ou contratação de máquinas (PAKZAD-MOGHADDAM, 2016), manutenção (LIAO et al., 2017) ou rejeição de trabalhos (JIA et al., 2017) e consumo de energia (PAN et al., 2018; TIGANE et al., 2019; Zandi et al., 2019) são alguns exemplos encontrados na pesquisa realizada.

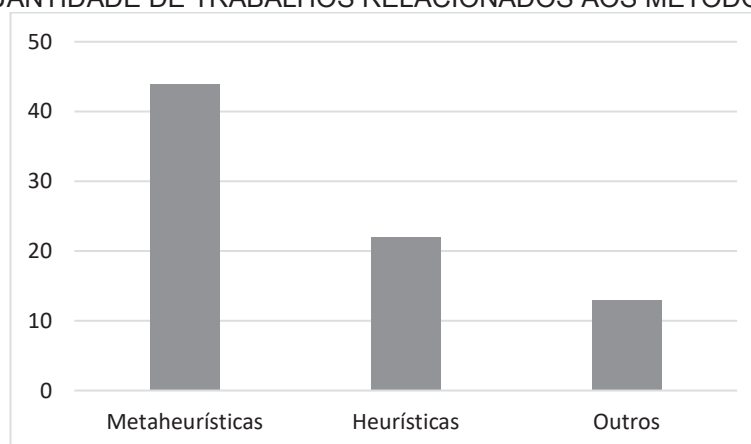
Na FIGURA 7 verifica-se outros objetivos comumente encontrados em problemas de sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas, tais como: tempo de conclusão das tarefas (14 trabalhos, sendo 11 de tempo total de conclusão e 3 de tempo ponderado de conclusão), antecipação das tarefas ou *earliness* (11 trabalhos, sendo 5 de *earliness* total, 5 de *earliness* ponderado e 1 de *earliness* máximo), número de trabalhos atrasados (8 trabalhos) e tempo de fluxo (7 trabalhos, sendo 4 de tempo de fluxo ponderado e 3 de tempo de fluxo total).

3.1.4 Métodos de solução

O problema de sequenciamento em máquinas paralelas é considerado *NP-Hard* (GAREY; JOHNSON, 1990). Ao abordar o caso multiobjetivo, verifica-se que a obtenção de uma solução se torna ainda mais complexa. Deste modo, muitos trabalhos destacam a utilização de heurísticas e metaheurísticas para encontrar conjuntos de soluções para os problemas abordados (GRIMME et al., 2013).

Heurísticas e metaheurísticas são consideradas métodos alternativos com a finalidade de obter soluções próximas às ótimas em um tempo computacional aceitável. Na FIGURA 8, nota-se que a maioria dos trabalhos aplica pelo menos um desses métodos (44 trabalhos utilizam metaheurísticas e 22 trabalhos usam heurísticas) para encontrar os resultados desejados. Por sua vez, 13 trabalhos referem-se à aplicação de uma abordagem exata para instâncias de pequeno porte, definições e/ou conceitos matemáticos.

FIGURA 8 – QUANTIDADE DE TRABALHOS RELACIONADOS AOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO



FONTE: A autora (2020).

De acordo com a FIGURA 8, as metaheurísticas são os métodos de solução mais encontrados na literatura. Como os trabalhos da amostra tratam de problemas de sequenciamento multiobjetivo, estes métodos são adaptados de metaheurísticas clássicas, para que possam englobar vários objetivos simultaneamente. A TABELA 1 aponta as principais metaheurísticas clássicas usadas como referência para as adaptações encontradas nesta revisão de literatura.

Pode-se verificar que a maioria dos trabalhos da amostra resulta de modificações do Algoritmo Genético clássico (22 trabalhos). A adaptação do Algoritmo Genético mais encontrada em problemas multiobjetivo é dada pelo *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA II), introduzido por Deb et al. (2002). O NSGA II é

um dos principais métodos para problemas multiobjetivo por obter aproximações para a fronteira ótima de Pareto, baseadas no conceito de não-dominância de cada indivíduo da população (AFZALIRAD; REZAEIAN, 2017).

TABELA 1 – METAHEURÍSTICAS CLÁSSICAS UTILIZADAS PELOS TRABALHOS DA AMOSTRA

METAHEURÍSTICA	NÚMERO DE TRABALHOS
<i>Genetic Algorithm (GA)</i>	22
<i>Simulated Annealing (SA)</i>	8
<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	7
<i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	4
<i>Variable Neighborhood Search (VNS)</i>	3
<i>Tabu Search (TS)</i>	3

FONTE: A autora (2020).

O *Simulated Annealing (SA)* e a *Ant Colony Optimization (ACO)* também são metaheurísticas bastante empregadas em problemas multiobjetivo, sendo utilizadas por 8 e 7 trabalhos, respectivamente. Outras adaptações que tem ganhado destaque em pesquisas recentes estão relacionadas a: *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Variable Neighborhood Search (VNS)* e *Tabu Search (TS)*, principalmente em trabalhos que desenvolvem uma metaheurística híbrida, responsável pela integração de várias características básicas de um conjunto de metaheurísticas de referência (BEHNAMIAN et al., 2010).

3.1.5 Otimização biobjetivo: minimização do *makespan* e da soma total de atrasos

A revisão de literatura apresentada nas subseções anteriores indica que a maioria dos autores abordam problemas multiobjetivo em máquinas paralelas idênticas. Além disso, as características mais encontradas na amostra estão relacionadas ao tempo de preparação da máquina (em sua maioria, dependente da sequência) e ao instante de chegada das tarefas no sistema. Em contrapartida, por mais que a minimização do *makespan* e do atraso total sejam os principais objetivos, tem-se que apenas 8 trabalhos da amostra executam estes objetivos simultaneamente para problemas em máquinas paralelas idênticas. Isto mostra que, por mais que o número de trabalhos relacionados ao sequenciamento multiobjetivo tenha crescido nas últimas décadas, ainda há muito a ser explorado nesta área de pesquisa. A seguir, o QUADRO 2 apresenta uma breve descrição dos artigos encontrados na amostra.

QUADRO 2 – TRABALHOS RELACIONADOS A MÁQUINAS PARALELAS IDÊNTICAS PARA A MINIMIZAÇÃO DO MAKESPAN E DO ATRASO TOTAL

TÍTULO DO TRABALHO	AUTORES	PERIÓDICO	ANO	$\alpha \beta \gamma$
<i>A multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective parallel machine scheduling</i>	Behnamian, J.; Zandieh, M.; FatemiGhomi, S. M. T.	<i>International Journal of Production Research</i>	2010	$P_m s_{ij} C_{max}, \sum (T_j + E_j)$
<i>Bi-objective parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times using hybrid metaheuristics and weighted min-max technique</i>	Behnamian, J.; Zandieh, M.; FatemiGhomi, S. M. T.	<i>Soft Computing</i>	2011	$P_m s_{ij} C_{max}, \sum (T_j + E_j)$
<i>Metaheuristics and exact methods to solve a multiobjective parallel machines scheduling problem</i>	Li, X.; Yalaoui, F.; Amodeo, L.; Chehade, H.	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	2012	$P_m s_{ij}, r_j C_{max}, \sum T_j$
<i>Fuzzy logic controller based multi-objective metaheuristics to solve a parallel machines scheduling problem</i>	Li, X.; Chehade, H.; Yalaoui, F.; Amodeo, L.	<i>Journal of Multiple-valued Logic and Soft Computing</i>	2012	$P_m s_{ij}, r_j C_{max}, \sum T_j$
<i>Metaheuristics for drilling operation scheduling in Taiwan PCB industries</i>	Liang, Y-C.; Hsiao, Y-M.; Tien, C-Y	<i>International Journal of Production Economics</i>	2013	$P_m C_{max}, \sum T_j$
<i>Multiobjective parallel machine scheduling in the sawmill industry using memetic algorithms</i>	Baessler, F.; Palma, C.	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	2014	$P_m s_{ij} C_{max}, \sum T_j$
<i>A bi-objective identical parallel machine scheduling problem with controllable processing times: a just-in-time approach</i>	FazelZarandi, M. H.; Kayvanfar, V.	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	2015	$P_m C_{max}, \sum (T_j + E_j)$
<i>Multi-objective optimization of the order scheduling problem in mail-order pharmacy automation system</i>	Dauod, H.; Li, D.; Yoon, S. W.; Srihari, K.	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	2018	$P_m M_j C_{max}, \sum T_j$

FONTE: A autora (2020).

O método multifases é aplicado no trabalho de Behnamian et al. (2010) para minimizar o *makespan* e o atraso/antecipação total em um problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas, com o tempo de *setup* dependente da sequência. Na primeira fase, os autores desenvolveram um *Based Random-Key Genetic Algorithm* (BRKGA) para descobrir uma boa aproximação da fronteira de Pareto. Nesta fase inicial, o método gera subpopulações a partir da população original, evitando que a solução tenha convergência para um ótimo local. Na segunda e terceira fase, realizam-se melhorias na fronteira de Pareto por meio de uma metaheurística híbrida que combina ACO, VNS e SA. Já em Behnamian et al. (2011), a metaheurística híbrida é descrita da seguinte forma: uma população inicial é criada por meio de uma ACO, o SA é usado para impedir que a solução se torne um ótimo local e, por fim, o

VNS é aplicado juntamente com procedimentos de Busca Local para melhoria da solução. Além disso, a combinação de dois métodos (SA/VNS e ACO/VNS) também é proposta para a resolução do problema.

No trabalho de Li et al. (2012a), os autores propuseram um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) e, devido à complexidade do problema, aplicaram a metaheurística NSGA-II para obter as soluções desejadas. Em seguida, vincularam um controlador de lógica difusa ao NSGA-II, criando o *Fuzzy Logic Controller* com o *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (FLC-NSGA-II). Ademais, desenvolveram uma abordagem exata, baseada no método de duas-fases, para identificar as soluções ótimas de Pareto em instâncias de pequeno porte. Por sua vez, Li et al. (2012b) compararam as metaheurísticas propostas FLC-NSGA-II e FLC-SPEA-II, adaptadas de NSGA-II e SPEA-II, respectivamente. Para isto, os autores desenvolveram um controlador de lógica difusa responsável pela melhoria do conjunto de parâmetros que realizam o processo de *crossover* e mutação.

Liang et al. (2013) aplicaram o problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas em uma indústria de placas de circuito impresso de Taiwan. O objetivo deste estudo é minimizar simultaneamente o *makespan* e o atraso total. Os autores desenvolveram um VNS e uma *Multiple Ant Colony Optimization* (MACO) para o problema biobjetivo e os resultados obtidos mostraram que o VNS atinge as melhores soluções. Baesler e Palma (2014) abordaram o problema de sequenciamento em máquina paralelas idênticas com o objetivo de minimizar o *makespan* e o atraso total. Este problema foi modelado e desenvolvido para uma indústria madeireira. Os autores propuseram a metaheurística *Memetic Algorithm with Compromise Search* (MACS) que combina conceitos de evolução genética e Busca Local, de modo que as populações sejam independentes para cada objetivo.

Sequenciamento multiobjetivo em máquinas paralelas idênticas com objetivo de minimizar o *makespan* e o atraso/antecipação total também é a proposta do trabalho de Zarandi e Kayvanfar (2015). As soluções para este problema são encontradas pelas metaheurísticas NSGA-II e *Non-dominated Ranking Genetic Algorithm* (NRGA). E, por fim, o trabalho de Dauod et al. (2018) aborda um problema de sequenciamento multiobjetivo para o sistema farmacêutico. Neste trabalho, os autores desenvolveram um Algoritmo Genético e compararam a performance do AG com heurísticas de sequenciamento utilizadas no setor industrial.

3.2 PROBLEMAS APLICADOS AO SETOR HOSPITALAR

A Pesquisa Operacional tem sido utilizada, cada vez mais, para solucionar problemas em diversas áreas. Uma de suas principais aplicações está relacionada ao setor de saúde, já que problemas de gestão e custos hospitalares são considerados de importantes para países em desenvolvimento (DEY et al., 2006). Deste modo, empregar otimização em problemas hospitalares permite a redução de custos operacionais sem afetar a qualidade dos serviços aos pacientes.

Diversos campos da Pesquisa Operacional podem ser utilizados para otimizar processos hospitalares. Em uma breve revisão de literatura encontra-se, por exemplo, pesquisas relacionadas ao fornecimento e/ou aquisição de materiais e medicamentos (REGO et al., 2014; ROSS; JAYARAMAN, 2009; ZHAO et al., 2012), terceirização de serviços (AZZI et al., 2013; VAN DE KLUNDERT et al., 2008), gestão e políticas de estoque (BIJVANK; VIS, 2012; GUERRERO et al., 2013; LITTLE; COUGHLAN, 2008), roteamento e atendimentos domiciliares (CATTAFI et al., 2015; DEMIRBILEK et al., 2019; BRAEKERS et al., 2016), entre outros.

Além das aplicações supracitadas, atividades intra-hospitalares também podem ser determinadas com o auxílio de otimização. Uma das aplicações encontradas trata-se do Problema de Alocação de Pacientes (*Patient Admission Scheduling*). Este problema tem o objetivo de alocar pacientes em quartos de hospital, de modo a garantir um melhor atendimento e maior conforto aos pacientes (DEMEESTER et al., 2010; CESCHIA; SCHAERF, 2011). Além do caso já mencionado, pode-se encontrar também o Problema Dinâmico de Alocação de Pacientes (*Dynamic Patient Admission Scheduling*), que consiste em uma designação de novos pacientes ao sistema ou inserção de características ao problema, como a urgência no atendimento e a flexibilização no tempo de permanência do paciente (CESCHIA; SCHAERF, 2012; CESCHIA; SCHAERF, 2016).

O Roteamento e Distribuição Intra-hospitalar (*Hospital-internal Distribution and Scheduling*) é outro problema que pode ser abordado em trabalhos intra-hospitalares. De modo geral, este problema se refere à distribuição de produtos de um armazém aos centros de saúde (VOLLAND et al., 2017). A distribuição de produtos farmacêuticos (AUGUSTO; XIE, 2009) e serviço de limpeza de roupas de cama

(BANERJEA-BRODEUR et al., 1998) são exemplos de atividades intra-hospitalares desenvolvidas a partir deste problema.

Por sua vez, os Problemas de Alocação de Enfermeiros (*Nurse Scheduling Problem*) buscam designar os turnos de trabalho dos funcionários, de forma que suas preferências sejam respeitadas sempre que possível (BURKE et al., 2006; BAGHERI et al., 2016) e suas folgas não ocorram em dias isolados (ZANDA et al., 2018). Um dos principais objetivos analisados para este problema trata-se da minimização de custos para a alocação de enfermeiros em seus horários de trabalho regular e nas horas extras utilizadas (CAMPBELL, 2012; WRIGHT et al., 2006).

No entanto, dentre os problemas intra-hospitalares encontrados na literatura, o presente trabalho está relacionado ao Problema de Internação dos Pacientes (*Inpatient Care Work*). Segundo Aragon et al. (2018), este problema se refere a um conjunto de atividades que devem ser realizadas por um profissional da saúde ao longo de um período de trabalho. Ainda, de acordo com a amostra obtida, o trabalho de Aragon et al. (2018) é o único que utiliza conceitos de Pesquisa Operacional para resolver um Problema de Internação dos Pacientes.

Neste estudo, Aragon et al. (2018) utilizam rodadas de trabalho (*rounds*), dividindo um turno em períodos menores, para evitar uma sobrecarga cognitiva aos funcionários do hospital. Além disso, os autores atribuem as tarefas diárias previstas, de acordo com o melhor ajuste em relação às rodadas estabelecidas. Tarefas não-previstas são alocadas posteriormente, conforme ajustes no tempo de trabalho. O sequenciamento das tarefas não foi considerado no problema abordado. Por fim, os autores desenvolveram um modelo matemático, cuja função objetivo busca minimizar alguns critérios, como: tempo de serviço, segurança, eficiência, eficácia, entre outros.

3.3 TRABALHOS CORRELATOS

Segundo a notação clássica de Graham et al. (1979), o presente trabalho pode ser denotado por $P_m || s_{ij}, r_j || C_{max}, \sum T_j$, onde m determina o número de máquinas paralelas idênticas, s_{ij} é o tempo de *setup* entre as tarefas i e j (i é imediatamente antecessora a j) e r_j é o instante de chegada das tarefas no sistema, e os objetivos

C_{max} e $\sum T_j$ representam o tempo máximo de conclusão das tarefas (*makespan*) e o atraso total, respectivamente.

Dentre os trabalhos selecionados, Li et al. (2012a) e Li et al. (2012b) são os únicos artigos que abordam o problema $P_m || s_{ij}, r_j || C_{max}, \sum T_j$. No primeiro trabalho, os autores desenvolveram o modelo matemático que será adaptado para o presente estudo e aplicaram a metaheurística FLC-NSGA-II para problemas de grande porte, enquanto no segundo caso os autores analisam as metaheurísticas FLC-NSGA-II e FLC-SPEA-II. De acordo com a revisão de literatura, nenhum trabalho aborda o problema de resequenciamento biobjetivo de produção para o ambiente de máquinas paralelas idênticas.

Deste modo, este trabalho baseia-se nos estudos de Da Silva et al. (2019), em que um resequenciamento de produção é realizado em uma única máquina, a partir da chegada e/ou cancelamento de atividades previstas ao longo do horizonte de planejamento. Além disso, o método de resequenciamento proposto pelos autores orienta as abordagens realizadas no presente trabalho.

Em relação a trabalhos aplicados em ambientes hospitalares, nota-se que, para o caso de problemas intra-hospitalares, Aragon et al. (2018) é o trabalho mais próximo ao problema abordado nesta pesquisa. Os autores buscam minimizar critérios de otimização da rotina hospitalar a partir de um modelo matemático, porém não consideram o sequenciamento como parte do problema desenvolvido. Sendo assim, não foram encontrados problemas intra-hospitalares que utilizem ferramentas de Pesquisa Operacional para efetuar um resequenciamento das tarefas ao longo de um dia de trabalho.

Portanto, o presente trabalho tem o objetivo de realizar um resequenciamento biobjetivo online em máquinas paralelas idênticas aplicado ao setor intra-hospitalar, de acordo com a chegada de novas atividades ao sistema. Diversas estratégias de resequenciamento são avaliadas para este ambiente dinâmico. Além disso, esta pesquisa visa compreender e analisar o *trade-off* entre os dois objetivos presentes no problema abordado: o tempo máximo de conclusão das atividades (*makespan*) e a soma total de atrasos dos atendimentos aos pacientes.

4 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

O presente trabalho tem o objetivo de realizar um sequenciamento de atividades relacionadas ao atendimento de pacientes em um hospital, de acordo com a disponibilidade de profissionais da saúde, ao longo de um dia de trabalho. Deste modo, este capítulo apresenta a formulação de um modelo matemático para o problema proposto.

O problema abordado neste trabalho pode ser denotado por $P_m || s_{ij}, r_j || C_{max}, \sum T_j$, já que o tempo de acesso às atividades e a data de liberação para o atendimento aos pacientes são características consideradas para o sequenciamento intrahospitalar. De acordo com a revisão de literatura apresentada no capítulo anterior, o trabalho de Li et al. (2012a) possui características semelhantes às encontradas nesta pesquisa. Além disso, em ambos os casos, procura-se minimizar os seguintes objetivos: o tempo máximo de conclusão das tarefas e o atraso total para efetuá-las. Assim, a formulação matemática utilizada nesta pesquisa trata-se de uma adaptação do modelo de Programação Linear Inteira Mista proposto por Li et al. (2012a).

4.1 PRESSUPOSTOS

- Cada atividade deve ser realizada por um único circulante e, conseqüentemente, cada circulante efetua apenas uma atividade por vez.
- Uma atividade fictícia é utilizada para a inicialização do sequenciamento, ou seja, esta atividade precede imediatamente o primeiro atendimento realizado por cada circulante.
- Os tempos de execução das atividades são valores fixos para todos os circulantes do hospital.
- Nenhuma atividade pode ser interrompida durante a sua execução, ou seja, o processo de preempção não é permitido durante o sequenciamento.

- Toda atividade pode ser executada por qualquer circulante que não esteja realizando alguma atividade. Além disso, considera-se que os circulantes estão disponíveis em todo o turno de trabalho para efetuarem o sequenciamento.

4.2 NOTAÇÕES

No problema de sequenciamento aplicado ao setor intra-hospitalar, um conjunto de n atividades deve ser executado por um conjunto de m circulantes. As notações utilizadas na modelagem matemática do problema são descritas a seguir.

4.2.1 Índices

i, j : índices para as atividades;

k : índice para os circulantes.

4.2.2 Parâmetros de entrada (inteiros e não-negativos)

s_{ij} : tempo de acesso do circulante da atividade i para a j (sendo i imediatamente antecessora a j);

p_j : tempo de execução da atividade j ;

r_j : data de liberação da atividade j ;

d_j : prazo de finalização da atividade j ;

ω_j : penalidade relacionada ao atraso de uma atividade j ;

λ : o peso ou a importância relacionada a cada um dos objetivos da função, onde $0 \leq \lambda \leq 1$;

M : valor muito grande, onde $M = 10(\sum_{j=1}^n (p_j + \max_i \{s_{ij}\}))$.

4.2.3 Variáveis de decisão

C_{jk} : instante de término da atividade j pelo circulante k ;

T_j : atraso da atividade j , onde $T_j = \max\{0, C_{jk} - d_j\}$;

C_{max} : tempo máximo de conclusão das atividades ou *makespan*, onde $C_{max} = \max C_{jk}, \forall j = 1, \dots, n$ e $\forall k = 1, \dots, m$;

$x_{ijk} = 1$, se a atividade i é imediatamente antecessora a atividade j para o circulante k ; e 0, caso contrário.

4.3 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA

A função objetivo e as restrições do problema de sequenciamento biobjetivo aplicado ao setor intra-hospitalar são apresentadas como segue:

$$\min Z = \lambda C_{max} + (1 - \lambda) \sum_{j=1}^n \omega_j T_j \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n x_{ijk} = 1, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{h=0 \\ h \neq i, j}}^n x_{hik} \geq x_{ijk}, \quad \forall i, j = 1, \dots, n, \quad i \neq j, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$C_{jk} - C_{ik} \geq s_{ij} + p_j + (x_{ijk} - 1)M, \quad \forall i = 0, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad i \neq j, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$C_{0k} = 0, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$C_{jk} \geq r_j + p_j, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$C_{max} \geq C_{jk}, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$C_{jk} \geq 0, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$T_j \geq C_{jk} - d_j, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$T_j \geq 0, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i = 0, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad i \neq j, \quad \forall k = 1, \dots, m \quad (13)$$

A função biobjetivo indicada em (1) é responsável pela minimização da combinação convexa do *makespan* e do atraso total, simultaneamente. O valor encontrado para o *makespan* garante, de modo geral, uma boa utilização dos circulantes durante o período de trabalho. Por outro lado, realizar os atendimentos em um prazo aceitável proporciona o bem-estar e a satisfação dos pacientes. Nota-se, ainda, que o presente estudo utilizou a proposta I de abordagem para problemas multiobjetivos, a partir de uma combinação linear entre os objetivos do problema.

O conjunto de restrições (2) garante que cada atividade, associada a um circulante, possua uma única atividade imediatamente antecessora. Nas restrições (3), afirma-se que existe, no máximo, uma atividade imediatamente sucessora a outra, caso ambas sejam realizadas pelo mesmo circulante. As restrições em (4) informam que a atividade fictícia, responsável pela inicialização do sistema, pode ser sucedida por apenas uma atividade para cada circulante. Em (5), as restrições asseguram que as atividades predecessoras e sucessoras entre si são efetuadas pelo mesmo circulante.

As restrições em (6) certificam que o instante de término da atividade j deve ocorrer após a soma entre o instante de término da atividade i (imediatamente anterior a j), o tempo de aceso do circulante da atividade i para a j , e o tempo de execução da atividade j . O conjunto de restrições (7) estabelece que o instante de término da atividade fictícia é nulo para todos os circulantes. As restrições (8) determinam que a atividade seja executada após a data de liberação para atendimento ao paciente. Em (9), o tempo máximo de conclusão das atividades deve ser maior ou igual ao instante de término de cada atividade, para todos os circulantes. Nas restrições (10) determina-se que o instante de término das atividades é não-negativo.

Os conjuntos de restrições (11) e (12) são responsáveis por encontrar o valor do atraso relacionado a atividade j . Em (11), o *lateness* é calculado pela diferença entre o instante de término da atividade j e seu prazo de finalização estipulado. Por sua vez, em (12), considera-se apenas os valores positivos do *lateness* obtido. Por fim, o conjunto (13) indica o domínio da variável de decisão x_{ijk} .

O modelo matemático acima diferencia-se da modelagem proposta por Li et al. (2012a) por considerar que o instante de término de cada atividade deve determinar qual circulante é responsável pela realização desta atividade. Este fato é importante para o processo de resequenciamento, já que o último atendimento do sequenciamento anterior se torna a atividade fictícia do sequenciamento atual.

5 METODOLOGIA

De modo geral, os trabalhos encontrados na literatura consideram que todas as tarefas de um sistema operacional estão disponíveis no início do horizonte de planejamento. Em contrapartida, sabe-se que, em casos reais, muitas alterações podem ocorrer em um cronograma inicial. No setor hospitalar, essas mudanças são determinadas por novos atendimentos ou até mesmo imprevistos que podem ocorrer ao longo do dia de trabalho.

Nestes casos, busca-se a melhor alternativa para a adaptação do sequenciamento original, sem afetar demasiadamente o atendimento previsto. O presente capítulo descreve o método de resequenciamento aplicado ao setor intrahospitalar, a partir do surgimento de novas atividades e da ordem de prioridade ou urgência de cada atendimento.

A abordagem dinâmica permite que políticas de resequenciamento sejam efetuadas a partir do instante de chegada de novos pedidos de atendimento, de modo que o impacto das alterações do sequenciamento inicial seja minimizado.

5.1 MÉTODO DE RESEQUENCIAMENTO

Nas últimas décadas, pesquisas relacionadas ao resequenciamento de produção têm apresentado um crescente desenvolvimento, já que envolvem características encontradas em problemas práticos (HALL et al., 2007). Segundo Vieira et al. (2003), o método de resequenciamento é utilizado para atualizar uma sequência, devido à interrupção no sistema de produção. Falhas nas máquinas, alteração no prazo de entrega, cancelamento ou inserção de pedidos são exemplos de fatores que podem ocasionar um resequenciamento de produção. Nestes casos, busca-se obter um equilíbrio entre o sequenciamento de alta qualidade e a rapidez na tomada de decisão para a interrupção ocorrida.

O resequenciamento proposto neste trabalho tem o objetivo de reproduzir um dia de trabalho de um setor intra-hospitalar, de modo a considerar a chegada de novos pacientes ao hospital, bem como o nível de urgência ou grau de prioridade destes

atendimentos. Assim, a cada política de resequenciamento definida, realiza-se o sequenciamento das atividades que ainda estão na fila para serem efetuadas, juntamente com os novos atendimentos inseridos. Ao fim de todas as atividades selecionadas, analisa-se o impacto das políticas de resequenciamento em relação a este sistema dinâmico.

Para iniciar o processo de resequenciamento do problema proposto, deve-se, primeiramente, realizar o sequenciamento inicial (S_0) com as atividades conhecidas a priori. Para este trabalho, considera-se que o número de atividades (n_0) do sequenciamento inicial é igual ao número de circulantes disponíveis (m). Com base na realização do sequenciamento S_0 e na chegada de novas atividades ao sistema, inicia-se a execução das atividades previamente consideradas até data de liberação do novo atendimento. Caso o processamento de alguma atividade tenha sido iniciado sem que o mesmo seja concluído até a chegada da nova atividade, não é possível realizar a interrupção do atendimento, ou seja, a preempção de atividades não é permitida. Deste modo, finaliza-se a atividade em execução, para depois iniciar o processo de resequenciamento.

O resequenciamento, denominado S_1 , inicia-se no instante de término da última atividade em execução de cada circulante, quando o próximo paciente é liberado para atendimento. O modelo de Programação Linear Inteira Mista, descrito no capítulo anterior, é utilizado para se obter a solução de cada resequenciamento. Esta solução se inicia ao final do sequenciamento antecessor, ou seja, o instante de término da atividade fictícia torna-se o instante de término da última atividade realizada por cada circulante no sequenciamento anterior. Desta forma, conserva-se a sequência de atividades já efetuadas e reorganiza-se aquelas que ainda estão na fila de espera, de acordo com a sua ordem de prioridade específica.

Caso um novo atendimento seja introduzido ao sequenciamento, gera-se o resequenciamento S_2 e repete-se o procedimento anterior. As atividades do sequenciamento S_1 ainda não iniciadas até a data de liberação do próximo atendimento, são processadas juntamente com as novas atividades no sequenciamento S_2 . Este processo é finalizado quando não existirem novas inserções ao sequenciamento.

O Algoritmo de Resequenciamento apresenta o procedimento realizado em um setor intrahospitalar, de modo que a chegada de novos pacientes ocorra durante a execução do sequenciamento original, conforme descrito anteriormente.

Algoritmo de Resequenciamento

1. Gerar o sequenciamento inicial S_0 , por meio do modelo definido nas expressões (1) a (13).

Para $i \geq 1$:

2. Iniciar a execução das atividades listadas no sequenciamento S_{i-1} até a data de liberação de um novo atendimento.

3. Elencar as atividades ainda não processadas no sequenciamento S_{i-1} junto com os novos atendimentos solicitados no resequenciamento S_i e iniciar uma nova execução do modelo matemático.

4. Retornar ao Passo 2, caso ainda existam novos atendimentos a serem inseridos no sequenciamento. Caso contrário, finalizar o processamento das atividades do resequenciamento S_i .

Um ponto que deve ser ressaltado é o fato de que as atividades podem ser realocadas em posições distintas a cada sequência estabelecida, ou seja, obtém-se uma solução “ótima” para cada resequenciamento proposto. Deste modo, o sequenciamento encontrado ao término da inserção de todas as atividades é composto por vários resequenciamentos parciais “ótimos”, o que não garante uma solução ótima ao final do processo completo.

5.2 POLÍTICAS DE RESEQUENCIAMENTO

De acordo com os conceitos de resequenciamento de produção, este trabalho classifica-se como um resequenciamento contínuo (AYTUG et al., 2005) e busca reorganizar prontamente as atividades intra-hospitalares, a partir do instante de chegada de novos atendimentos. Para a realização deste procedimento ao longo de um dia de trabalho, definem-se 8 políticas de resequenciamento, com o objetivo de analisar o impacto do sequenciamento em um sistema dinâmico. Além disso, a partir da política 4, analisa-se o grau de prioridade ou nível de urgência para a realização de uma tarefa. O QUADRO 3 apresenta a classificação dos níveis de prioridade utilizados no presente trabalho.

QUADRO 3 – NÍVEIS DE URGÊNCIA DAS ATIVIDADES INTRA-HOSPITALARES

NÍVEL DE URGÊNCIA	DESCRIÇÃO
Nível 1	Nenhuma urgência
Nível 2	Pouca urgência
Nível 3	Urgência média
Nível 4	Muita urgência

FONTE: A autora (2020).

A seguir, apresenta-se a definição das políticas de resequenciamento para o setor intra-hospitalar:

- **Política 1 (P1)** – Resequenciamento a cada nova atividade: após o sequenciamento inicial, realiza-se o resequenciamento das tarefas ainda não executadas, juntamente com a nova atividade inserida.

Por sua vez, as estratégias utilizadas nas políticas de 2 a 7 realizam as alterações no cronograma hospitalar por meio de blocos de atividades (de acordo com uma quantidade de atendimentos específica ou de um tempo decorrido), a fim de minimizar o número de resequenciamentos ao final do processo.

- **Política 2 (P2)** – Resequenciamento por blocos de atendimento: após o sequenciamento inicial, realiza-se o resequenciamento a partir de q atendimentos. Para este trabalho, considera-se que $q = 8$ e, caso um novo atendimento seja solicitado sem que alguma atividade tenha sido finalizada, acrescenta-se este novo atendimento ao bloco de atividades.

A quantidade de novas atividades a serem inseridas neste bloco depende do número de atendimentos do sequenciamento anterior que ainda não foram efetuados. Por exemplo, para um bloco de 8 atendimentos em que 2 atividades do sequenciamento anterior ainda não foram realizadas, pode-se inserir apenas 6 novos atendimentos para completar o bloco e realizar o resequenciamento.

- **Política 3 (P3)** – Resequenciamento por blocos de tempo: após o sequenciamento inicial, realiza-se o resequenciamento a partir de um tempo $t = 600$ s decorrido. Este bloco é formado pelos atendimentos ainda não efetuados em um intervalo de tempo pré-definido juntamente com as novas atividades solicitadas aos circulantes.

- **Política 4 (P4)** – Resequenciamento por blocos de atendimento ou primeira urgência de nível 4: esta política se refere a Política 2 e ao surgimento de uma tarefa

considerada muito urgente, ou seja, com o maior nível de urgência. Deste modo, o resequenciamento deve analisar qual evento ocorre primeiro (o bloco de q atendimentos ou uma atividade muito urgente) e inicia o processamento das atividades de acordo com esta informação.

- **Política 5 (P5)** – Resequenciamento por blocos de tempo ou primeira urgência de nível 4: nesta estratégia, o resequenciamento está relacionado com a Política 3 e com o surgimento de uma atividade com o maior nível de urgência. Analogamente ao caso anterior, o resequenciamento é realizado a partir do evento que ocorrer primeiro.

- **Política 6 (P6)** – Resequenciamento por blocos de atendimento ou por blocos de tempo: trata-se da combinação da Política 2 e da Política 3. Assim, o resequenciamento é realizado a partir de blocos de atividades com q atendimentos ou blocos com intervalo de tempo t .

- **Política 7 (P7)** – Resequenciamento por blocos de atendimento ou por blocos de tempo ou primeira urgência de nível 4: esta estratégia se refere a Política 6 e ao surgimento de uma atividade considerada muito urgente. Por conseguinte, o resequenciamento é efetuado a partir de um bloco de atendimentos, ou a cada intervalo de tempo ou, ainda, quando ocorrer a primeira urgência de nível 4.

As políticas de resequenciamento supracitadas são realizadas por meio de uma abordagem exata, a partir do modelo de Programação Linear Inteira Mista apresentado no capítulo anterior. Porém, para que se possa analisar as estratégias exatas e compará-las com métodos utilizados em ambientes hospitalares reais, define-se uma política determinada por uma heurística operacional, como segue:

- **Política 8 (P8)** – Resequenciamento por uma heurística operacional: neste método, usado pelos circulantes em situações reais, uma nova atividade deve ser inserida no resequenciamento atual, juntamente com os atendimentos do sequenciamento anterior ainda não efetuados. Para este processo, organizam-se as atividades do resequenciamento conforme sua data de liberação (ordem crescente), de modo a priorizar os atendimentos que estão a mais tempo na fila de espera. Em seguida, verifica-se o grau de prioridade das atividades presentes nesta lista e os atendimentos são sequenciados do maior para o menor nível de urgência. Caso ainda existam atividades a serem inseridas no sequenciamento, repete-se o processo de

ordenação dos atendimentos ainda não efetuados e inserção conforme o grau de prioridade descrito acima.

5.3 EXEMPLO NUMÉRICO

A aplicação do método de resequenciamento é retratada no exemplo a seguir, com o propósito de ilustrar o procedimento realizado. Considera-se, neste caso, que $M = 3$ circulantes devem realizar o atendimento de $N = 6$ pacientes em um setor intra-hospitalar. A TABELA 2 apresenta as informações necessárias para os circulantes efetuarem os atendimentos aos pacientes.

TABELA 2 – INFORMAÇÕES SOBRE OS ATENDIMENTOS INTRA-HOSPITALARES

Identificação	Data de Liberação da Atividade	Quarto de Origem	Quarto de Destino	Prazo de Finalização da Atividade	Grau de Prioridade
Atividade 1	7	5	6	52	Nível 1
Atividade 2	10	3	4	35	Nível 3
Atividade 3	12	8	4	45	Nível 2
Atividade 4	15	10	7	60	Nível 1
Atividade 5	18	4	2	51	Nível 2
Atividade 6	19	7	10	35	Nível 4

FONTE: A autora (2020).

Na primeira coluna, identifica-se qual a atividade a ser efetuada pelos circulantes. A segunda coluna se refere a data de liberação da atividade, ou seja, o instante de tempo em que o paciente chega ao hospital ou quando um paciente é liberado para ser atendido. Em seguida, a terceira e a quarta coluna informam os quartos de origem e destino para a realização de um atendimento. Na quinta coluna, estipula-se o prazo máximo de finalização das atividades. E, por fim, os dados da sexta coluna apresentam o nível de urgência de cada atividade solicitada. Nota-se, ainda, que o prazo de finalização das atividades é influenciado pelo nível de urgência dos atendimentos. Assim, quanto maior a urgência, menor é o prazo para a realização desta atividade.

Por sua vez, os valores de origem e destino de uma atividade são informações importantes para se obter o tempo de acesso do circulante para a próxima atividade e o tempo de execução deste atendimento. A origem e o destino são utilizados,

respectivamente, como linha e coluna de uma matriz quadrada que representa o tempo decorrido entre os quartos do hospital, conforme apresenta-se na TABELA 3.

TABELA 3 – TEMPO DECORRIDO ENTRE OS QUARTOS DO HOSPITAL

Quartos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	13	6	7	15	3	4	12	8	10
2	13	1	14	15	8	10	14	15	4	9
3	6	14	1	9	12	7	9	12	14	8
4	7	15	9	1	13	13	8	11	7	10
5	15	8	12	13	1	15	13	2	3	6
6	3	10	7	13	15	1	15	7	9	11
7	4	14	9	8	13	15	1	10	12	9
8	12	15	12	11	2	7	10	1	7	13
9	8	4	14	7	3	9	12	7	1	12
10	10	9	8	10	6	11	9	13	12	1

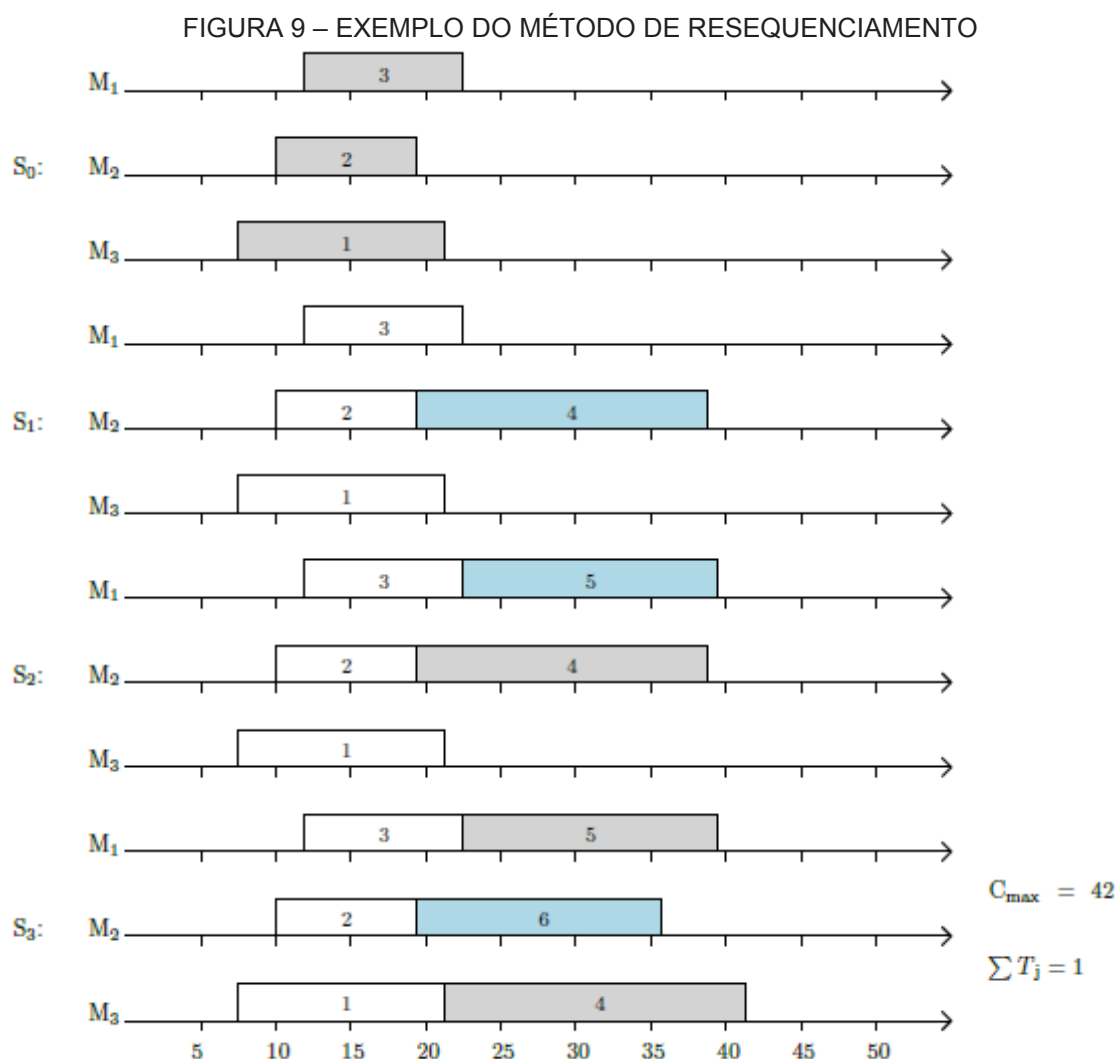
FONTE: A autora (2020).

A FIGURA 9 ilustra o processo de resequenciamento aplicado ao setor intrahospitalar para o exemplo proposto. Nesta pesquisa, considera-se que cada circulante inicia o seu turno de trabalho com apenas uma atividade e as demais são inseridas no decorrer do sequenciamento, a partir da chegada de novos pacientes e de sua ordem de prioridade. O valor utilizado para o peso da função objetivo é dado por $\lambda = 0,5$, ou seja, existe um equilíbrio na ponderação entre o tempo máximo de conclusão das atividades e a soma total nos atrasos dos atendimentos. Além disso, o exemplo utiliza a Política 1 para o resequenciamento.

Os itens em branco correspondem às atividades finalizadas em um dos sequenciamentos anteriores, ou seja, estes atendimentos não participam do resequenciamento atual. Por sua vez, os itens em cinza representam atividades que já pertenciam ao sequenciamento anterior, mas que ainda não foram iniciadas até o momento do resequenciamento. Por fim, as atividades em azul simbolizam os novos atendimentos que estão em processo de sequenciamento juntamente com os itens em cinza.

Primeiramente, realiza-se o sequenciamento inicial S_0 , de modo que o número de atividades deste sequenciamento seja igual à quantidade de circulantes (M_1, M_2 e M_3) disponíveis no turno de trabalho analisado. Deste modo, para o exemplo proposto, tem-se que $n_0 = 3$. Ao passo que se inicia a execução das atividades do sequenciamento S_0 , ocorre a chegada de outro atendimento (Atividade 4). Este atendimento é realizado em um novo sequenciamento quando as atividades em

execução em S_0 são finalizadas. Nota-se que, no instante em que este atendimento é designado aos circulantes, nenhuma atividade do sequenciamento anterior está na fila de espera. Deste modo, apenas a Atividade 4 deve ser processada no resequenciamento S_1 .



FONTE: A autora (2020).

Em seguida, a Atividade 5 chega ao sistema e inicia-se um novo processo de resequenciamento. Neste caso, como a Atividade 4 não está em processo de execução, considera-se que esta atividade está na fila de espera de atendimento. Sendo assim, o resequenciamento S_2 possui duas atividades para serem efetuadas pelos circulantes (Atividade 4 e Atividade 5).

Por fim, a Atividade 6 é introduzida ao sistema, o que provoca um novo sequenciamento de atendimentos, denominado resequenciamento S_3 . Pode-se observar que, no instante em que este resequenciamento é iniciado, existem duas

atividades na fila de espera para serem executadas (Atividade 4 e Atividade 5). Além disso, a Atividade 6 é considerada um atendimento de alto nível de urgência (Nível 4), o que faz com que esta atividade tenha prioridade de execução. Sendo assim, o resequenciamento S_3 possui três atividades a serem realizadas pelos circulantes do hospital (Atividade 4, Atividade 5 e Atividade 6). Nota-se que, devido ao nível de urgência da Atividade 6, a sequência das atividades é alterada para que ocorra o mínimo de atraso nesta atividade. Como não existem novos atendimentos a serem inseridos no sistema hospitalar, finaliza-se o procedimento.

6 RESULTADOS

A partir do problema de sequenciamento biobjetivo aplicado ao setor intra-hospitalar e do método de resequenciamento apresentados nos capítulos anteriores, uma simulação é aplicada no presente capítulo, com o objetivo de analisar e discutir os resultados obtidos em um sistema dinâmico e o desenvolvimento de cada política de resequenciamento proposta.

6.1 TESTES COMPUTACIONAIS

O método de proposto foi implementado, juntamente com as políticas de resequenciamento, em linguagem de programação C++ e, para a solução por meio da abordagem exata, utilizou-se o *software* de otimização *Gurobi Optimization* (versão 8.1.0), com parâmetros *default*. Os testes foram realizados em um computador com sistema operacional CentOS Linux, com processador Intel(R) Xeon(R) de 2.60GHz e com até 16 GB de RAM.

No ponto de vista teórico, o método de resequenciamento por meio da abordagem exata não pode ser aplicado para instâncias de grande porte, devido ao esforço computacional exigido para a solução de um problema biobjetivo. Por sua vez, em relação às questões práticas, deve-se limitar a quantidade de atendimentos aos pacientes para que se evitem esforços cognitivos e o uso excessivo da memória dos circulantes (ARAGON et al., 2018). Deste modo, as instâncias foram criadas com base em um subperíodo do turno de maior concentração de pacientes de um hospital do Canadá, de modo a avaliar o sequenciamento das atividades solicitadas. Assim, os parâmetros do problema proposto foram gerados da seguinte maneira:

- Quantidade total de atividades: $N = 20, 30$ e 40 .
- Quantidade total de circulantes: $M = 8$.
- Número de quartos no hospital: 30 .
- Origem/Destino dos atendimentos: este parâmetro está diretamente relacionado ao número de quartos considerado nesta pesquisa. Assim, a origem e o destino dos atendimentos são gerados por uma distribuição uniforme discreta entre

os quartos do hospital, ou seja, no intervalo $[1, 30]$. Além disso, considera-se que pelo menos metade das atividades realizadas trata-se de uma ida e volta do mesmo paciente. Por exemplo, se o par ordenado (origem, destino) é dado por $(6, 25)$ e esta atividade necessita, obrigatoriamente, de um retorno ao quarto de origem, então deve existir uma atividade representada pelo par $(25, 6)$, onde 25 é o quarto de origem e 6 o quarto de destino.

- Tempo decorrido entre os quartos do hospital: como citado anteriormente, o tempo decorrido entre os quartos do hospital é dado por uma matriz quadrada em que a linha i representa a origem do atendimento e a coluna j trata-se do destino do atendimento. Deste modo, para $i = j$, o tempo decorrido entre a origem e o destino é de 60 segundos, já que podem ocorrer atendimentos em que seja necessário tirar o paciente de um leito e levá-lo para outro leito no mesmo quarto. Enquanto, para $i \neq j$, gera-se o valor do tempo decorrido, em segundos, por meio de uma distribuição uniforme no intervalo $[120, 900]$. Vale ressaltar que os parâmetros de tempo de acesso do circulante entre as atividades i e j e o tempo de execução da atividade j são valores obtidos por meio do par (origem, destino) de uma atividade e dos valores da matriz de tempo decorrido.

- Data de lançamento da atividade j (r_j): este parâmetro representa o intervalo de tempo em que as atividades chegam ao sistema hospitalar. Deste modo, assume-se que este parâmetro é obtido a partir de uma distribuição exponencial, com média $\hat{\mu} = 1/\hat{\lambda} = 1/50$ segundos.

- Prazo de finalização da atividade j (d_j): considera-se o instante em que a atividade j chega ao sistema e acrescenta-se um valor fixo, denominado v_{fixo} , para este atendimento ser efetuado. O valor fixo representa a maior distância entre os quartos do hospital, ou seja, $v_{fixo} = 900$ segundos. Além desta soma, acrescenta-se um valor referente à prioridade de cada atividade efetuada. O QUADRO 4 apresenta os valores de acordo com o nível de urgência da atividade. Portanto,

$$d_j = r_j + v_{fixo} + \gamma_j \quad (14)$$

Nota-se que, quanto maior o nível de urgência para a realização de uma atividade, menor o prazo para a finalização deste atendimento.

QUADRO 4 – ACRÉSCIMO DE TEMPO DE ACORDO COM O NÍVEL DE URGÊNCIA

NÍVEL DE URGÊNCIA	γ_j
Nível 1	1800 s
Nível 2	1080 s
Nível 3	600 s
Nível 4	60 s

FONTE: A autora (2020).

• Peso ou penalidade no atraso da atividade j (ω_j): este valor é utilizado na função objetivo para priorizar as atividades de maior prioridade, ou seja, são proporcionais aos níveis de urgência estabelecidos. Os pesos das atividades são definidos no QUADRO 5.

QUADRO 5 – PESO NO ATRASO DA ATIVIDADE DE ACORDO COM O NÍVEL DE URGÊNCIA

NÍVEL DE URGÊNCIA	ω_j
Nível 1	1
Nível 2	10
Nível 3	18
Nível 4	30

FONTE: A autora (2020).

• Quantidade de atividades urgentes: para este trabalho, três diferentes cenários são avaliados de acordo com a urgência dos atendimentos. No primeiro cenário, considera-se que poucas urgências de Nível 4 devem ser efetuadas pelos circulantes (aproximadamente 1%), enquanto o restante dos níveis de urgência está equilibrado (aproximadamente 33%). O segundo cenário representa um sistema balanceado, ou seja, todos os níveis de urgência possuem 25% de atividades em execução no sequenciamento. Por fim, o terceiro cenário define-se como um caso de alto índice de urgências do Nível 4 (aproximadamente 34%) e os demais níveis estão em equilíbrio (aproximadamente 22%).

• Ponderação ou peso da função objetivo: além dos parâmetros supracitados, considera-se que um problema biobjetivo possui mais do que uma solução ótima, de acordo com o nível de importância de cada objetivo selecionado (BAESLER; PALMA, 2014). Deste modo, este trabalho utiliza três valores distintos para o parâmetro de ponderação da função objetivo, representada pela equação (1), em cada problema abordado: $\lambda = 0$; 0,5 e 1. Para o valor $\lambda = 0$, considera-se que a função possui apenas o objetivo de minimizar a soma total do atraso das atividades. Analogamente, para $\lambda = 1$, o problema se refere apenas ao objetivo de minimizar o tempo máximo de conclusão das atividades ou *makespan*. Em contrapartida, para $\lambda = 0,5$, tem-se uma função com o mesmo grau de importância para ambos os objetivos propostos.

Um total de 50 replicações foi realizado para cada conjunto de problemas gerados, o que resulta em 10800 simulações (3 quantidades de atividades \times 3 cenários de urgência \times 3 parâmetros de ponderação ou peso da função objetivo \times 8 políticas de resequenciamento \times 50 replicações).

6.2 ANÁLISES E DISCUSSÕES

O método de resequenciamento aplicado ao setor intrahospitalar tem como um dos principais objetivos, analisar a qualidade das soluções obtidas a partir da interrupção do cronograma inicial devido à chegada de novas atividades, bem como verificar o impacto causado pelo nível de urgência dessas atividades. A partir dos conjuntos de testes gerados, compara-se o desempenho das políticas de resequenciamento por meio de uma abordagem exata (Política 1 a Política 7) e da política por meio de uma heurística operacional (Política 8) para que se possa analisar quais estratégias demonstram ser mais relevantes tanto para os circulantes quanto para os pacientes em um processo de atendimento hospitalar.

6.2.1 Tempo máximo de conclusão das atividades

O presente trabalho aborda um problema de sequenciamento biobjetivo em que um dos objetivos se refere à minimização do tempo total de conclusão das atividades, também conhecido como *makespan*. Conforme mencionado anteriormente, este objetivo visa auxiliar o trajeto realizado pelos circulantes, de modo a tornar o serviço mais rápido e eficiente. Assim, em um primeiro momento, busca-se analisar os valores médios, em percentual, dos desvios entre o *makespan* das políticas de resequenciamento exato e da heurística operacional (Política 8), definidos por $\left(\frac{P_8 - P_i}{P_8}\right) \times 100$ (onde $i = 1, \dots, 7$), bem como o desvio padrão (DP) e os limites inferior (LI) e superior (LS) em um intervalo com 95% de confiança, de acordo com a seguinte expressão:

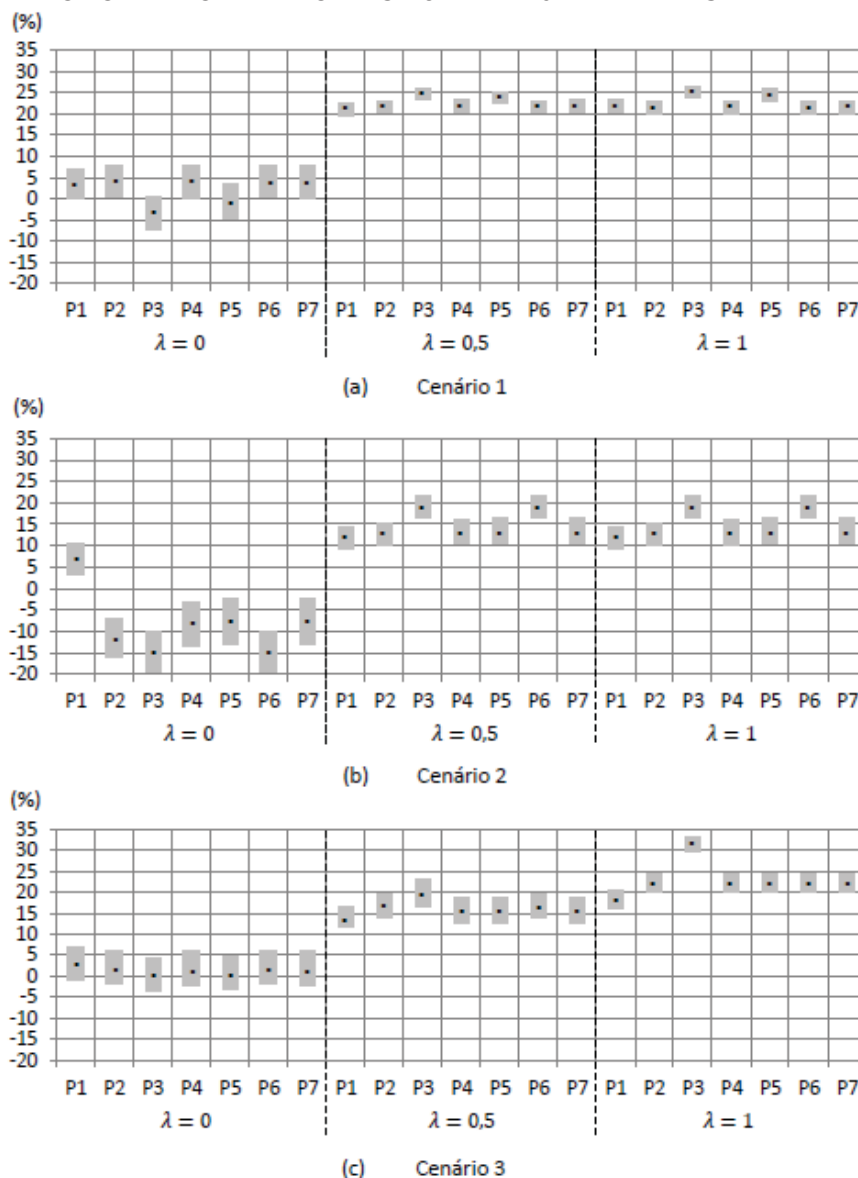
$$\bar{x} - t \frac{s}{\sqrt{50}} \leq \mu \leq \bar{x} + t \frac{s}{\sqrt{50}} \quad (15)$$

Como exemplo, considera-se o caso de 20 atividades, Cenário 1 e $\lambda = 0$. Em uma das replicações deste exemplo, tem-se que o *makespan* para a Política 1 resulta

em 2589 segundos, enquanto na Política 8 o valor é dado por 2909 segundos. Assim, ao calcular-se o desvio percentual entre estas políticas, obteve-se o valor de 11%, ou seja, este desvio informa que a Política 1 possui um resultado 11% superior ao da Política 8.

A FIGURA 10 apresenta estes resultados para o caso de 20 atividades, em cada ponderação da função objetivo ($\lambda = 0$; $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$) e cada cenário relacionado às urgências nos atendimentos (Cenário 1, Cenário 2 e Cenário 3). Mais detalhes sobre os resultados desta análise encontram-se no APÊNDICE 1.

FIGURA 10 – DESVIO PERCENTUAL MÉDIO ENTRE O *MAKESPAN* DAS POLÍTICAS DO MÉTODO EXATO E DA POLÍTICA 8 PARA 20 ATIVIDADES REALIZADAS



FONTE: A autora (2020).

Para a ponderação $\lambda = 0$, em que se considera apenas a minimização da soma total dos atrasos aos atendimentos, nota-se que, para o Cenário 1, a maioria das políticas exatas obteve resultados superiores aos obtidos pela Política 8. Por sua vez, no Cenário 2, a Política 1 destaca-se por ser a única a alcançar resultados superiores aos da Política 8, chegando a, aproximadamente, 11% de melhorias em relação ao *makespan*. Já no Cenário 3, pode-se observar que todas as políticas exatas possuem resultados equivalentes, com médias superiores às encontradas na Política 8.

Para os casos em que $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$, pode-se observar, no Cenário 1, valores semelhantes para o desvio percentual do *makespan* em todas as políticas de resequenciamento. Por sua vez, no Cenário 2, nota-se que a Política 3 e a Política 6 apresentam resultados significativos em ambas as ponderações da função objetivo.

No Cenário 3, verifica-se algumas diferenças para os pesos da função objetivo. Em $\lambda = 0,5$, os resultados são equivalentes para todas as políticas exatas e, em geral, os resultados garantem valores de 10% a 25% melhores do que aqueles obtidos na heurística operacional. Já para o caso em que $\lambda = 1$, pode-se constatar que a Política 3 obteve os melhores resultados quando comparada às outras políticas de resequenciamento analisadas, obtendo valores de desvio percentual médio superiores a 30%. Conforme descrito anteriormente, a Política 3 realiza um resequenciamento a cada quantidade t de tempo decorrido. Deste modo, para um turno considerado o “gargalo” das atividades intra-hospitalares e um cenário com muitas urgências como ocorre no Cenário 3, este método de resequenciamento torna-se relevante, já que é capaz de otimizar um número maior de atividades a cada interrupção realizada.

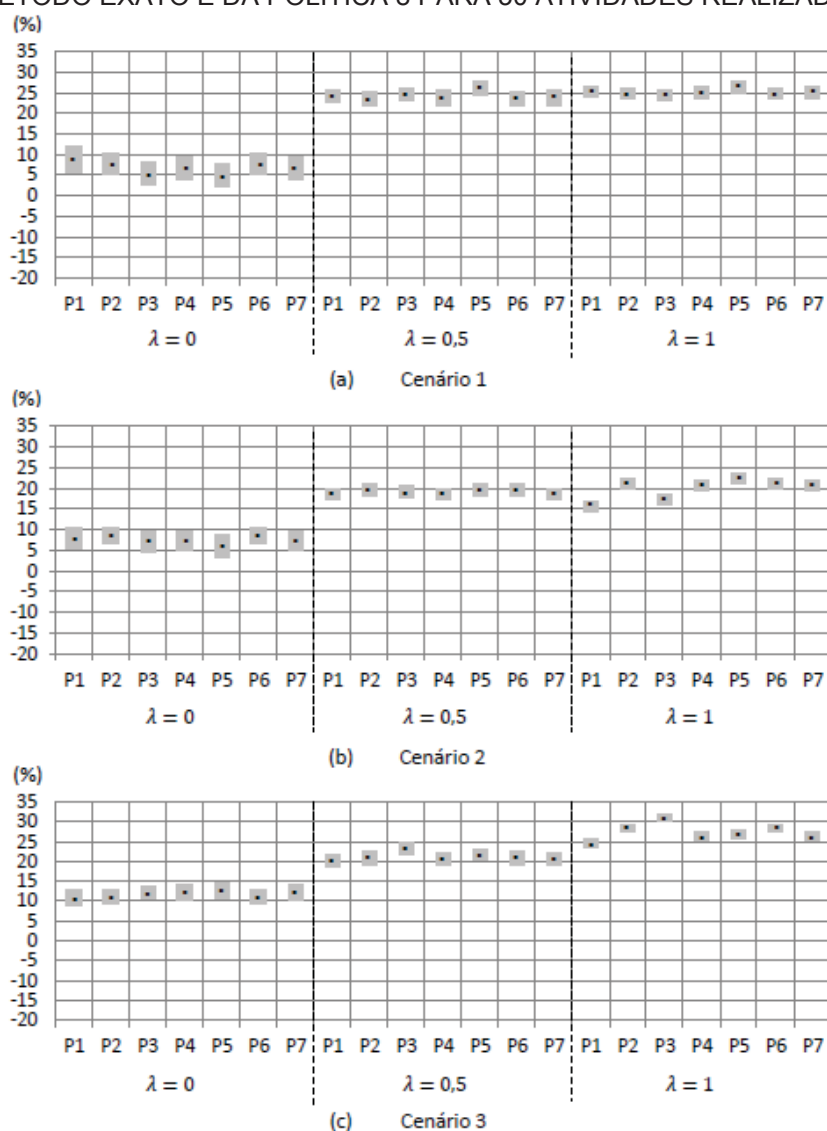
A seguir, a FIGURA 11 apresenta os resultados obtidos para 30 atividades realizadas pelos circulantes. Neste caso, nota-se um equilíbrio entre as políticas de resequenciamento, para $\lambda = 0$, em todos os cenários avaliados. As políticas que utilizam a abordagem exata possuem valores que resultam em até 15% de melhoria no desvio percentual em relação a Política 8. Para a ponderação $\lambda = 0,5$, isto é, o caso em que ambas as funções objetivo possuem o mesmo nível de importância, as políticas de resequenciamento possuem soluções muito semelhantes para todos os cenários analisados.

Já no caso de $\lambda = 1$, constata-se algumas diferenças de acordo com o cenário avaliado. No Cenário 1, esta ponderação possui valores do desvio percentual médio do *makespan* equivalentes, para todas as políticas implementadas. Por outro lado,

nos cenários 2 e 3 encontram-se resultados distintos de acordo com a política analisada.

No Cenário 2, verifica-se que as políticas P1 e P3 possuem um desempenho inferior às outras abordagens exatas. As políticas citadas encontram de 15% a 20 % de melhoria no desvio percentual médio para o *makespan*, enquanto as demais políticas obtêm até, aproximadamente, 25% de resultados superiores aos encontrados em P8. Quanto ao terceiro cenário, a maioria das políticas possuem resultados entre 25% a 30% melhores do que a Política 8. Mais uma vez, destaca-se a Política 3 com até 32% de resultados superiores aos da heurística operacional.

FIGURA 11 – DESVIO PERCENTUAL MÉDIO ENTRE O *MAKESPAN* DAS POLÍTICAS DO MÉTODO EXATO E DA POLÍTICA 8 PARA 30 ATIVIDADES REALIZADAS

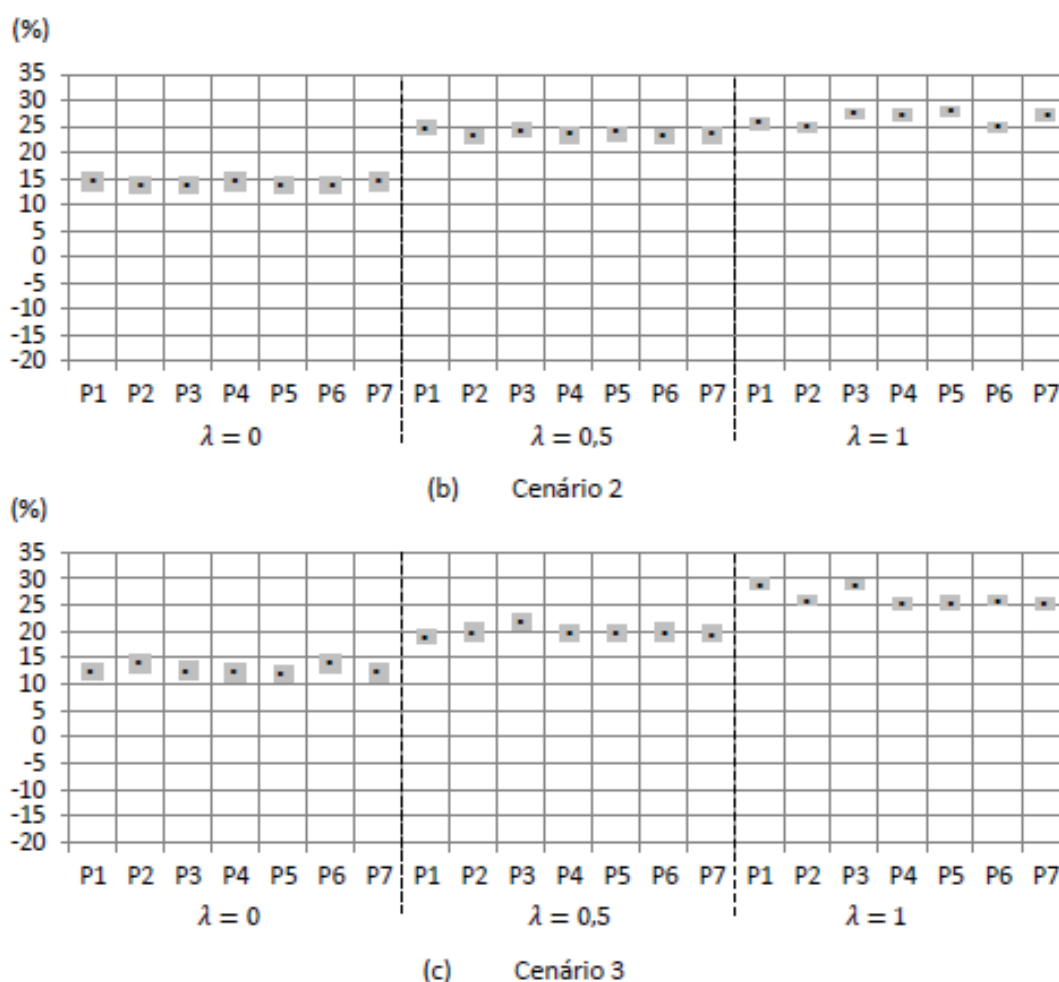


FONTE: A autora (2020).

Para a última análise em relação ao *makespan*, considera-se um total de 40 atendimentos intra-hospitalares. Neste caso, não se obteve o resultado das 50 replicações das políticas exatas para o Cenário 1². A FIGURA 12 destaca os principais resultados obtidos para este conjunto de testes.

Neste conjunto, existe um equilíbrio entre os valores de todas as políticas de resequenciamento, para todas as ponderações e cenários testados. O desvio percentual médio corresponde a um intervalo de 10% a 17%, para $\lambda = 0$; 17% a 26%, para $\lambda = 0,5$; e 23% a 31%, para $\lambda = 1$.

FIGURA 12 – DESVIO PERCENTUAL MÉDIO ENTRE O *MAKESPAN* DAS POLÍTICAS DO MÉTODO EXATO E DA POLÍTICA 8 PARA 40 ATIVIDADES REALIZADAS



FONTE: A autora (2020).

De modo geral, os conjuntos de testes analisados possuem resultados favoráveis em relação ao *makespan* das políticas de resequenciamento em que se

² Cada replicação foi testada em um tempo limite de 24 horas.

aplica uma abordagem exata, quando comparadas ao método utilizado em um sistema hospitalar real, denominado, neste trabalho, por heurística operacional (Política 8). Nota-se que, para $\lambda = 0$, estes valores aumentam em um percentual menor do que para os casos de $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$. Este fato decorre da característica da função objetivo em questão, já que o *makespan* não é um dos objetivos de otimização para $\lambda = 0$. Em contrapartida, à medida em que se insere o *makespan* como um dos objetivos do problema, o desvio percentual médio entre as políticas torna-se cada vez mais acentuado.

6.2.2 Soma total de atrasos das atividades

O segundo objetivo busca minimizar a soma total dos atrasos nos atendimentos, com o propósito de se obter maior qualidade de serviço aos pacientes. Deste modo, para cada política de resequenciamento, a TABELA 4 apresenta a média da soma total de atrasos para 20, 30 e 40 atividades, de acordo com cada ponderação na função objetivo e cada cenário de urgências proposto.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que, de modo geral, as políticas de resequenciamento que utilizam a abordagem exata encontraram resultados superiores aos da política realizada por meio da heurística operacional. Em especial, destaca-se o desempenho da Política 3 (por bloco de tempo), que obteve os melhores resultados na maioria dos testes analisados. Além disso, nota-se que a Política 1 (a cada nova atividade solicitada) obteve os melhores resultados para a ponderação $\lambda = 1$, no Cenário 1.

Para o Cenário 2 e a quantidade total de 20 atendimentos, algumas políticas exatas permitem que as atividades sejam realizadas sem a ocorrência de atrasos ao longo do período de trabalho. Dentre as políticas citadas, destacam-se a Política 2, a Política 3 e a Política 6, que finalizam o sequenciamento das atividades sem atraso, para todas as ponderações avaliadas na função objetivo.

Outro ponto que deve ser ressaltado, trata-se da análise comparativa entre a política exata com o melhor desempenho (em destaque na TABELA 4) e a heurística operacional adotada neste trabalho. Nota-se, por exemplo, no caso de 30 atividades, Cenário 1 (poucas urgências) e $\lambda = 0$, que a Política 3 possui uma soma total de atrasos de 3,7 segundos, ou seja, 158 vezes menor do que a Política 8, que acumula um atraso total médio de, aproximadamente, 10 minutos.

TABELA 4 – SOMA TOTAL DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA AS POLÍTICAS DE RESEQUENCIAMENTO PROPOSTAS

C	λ	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
20 Atividades	1	0,0	26,5	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	257,4
		0,5	27,5	22,2	22,2	23,3	23,3	22,2	257,4
		1,0	209,1	387,6	305,9	321,2	261,3	387,6	321,2
	2	0,0	6,2	0,0	0,0	1,2	1,2	0,0	195,5
		0,5	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	0,0	195,5
		1,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	0,0	195,5
	3	0,0	583,3	290,1	105,7	425,4	425,4	290,1	425,4
		0,5	629,4	346,2	106,0	434,9	434,9	346,2	434,9
		1,0	1712,3	1478,6	872,2	1053,0	1042,9	1478,6	1053,0
30 Atividades	1	0,0	38,9	30,5	3,7	37,4	15,3	30,5	37,4
		0,5	46,8	34,6	16,6	36,9	23,2	34,6	36,9
		1,0	177,4	1301,0	274,8	537,9	242,8	1301,0	532,2
	2	0,0	672,8	332,1	202,7	387,6	378,4	332,1	387,6
		0,5	519,4	375,2	375,0	438,1	432,4	375,2	438,1
		1,0	1536,5	2629,9	1388,2	1742,5	1689,8	2629,9	1742,5
	3	0,0	1865,2	1436,6	702,4	1653,1	1462,4	1436,6	1653,1
		0,5	1956,9	1668,0	688,0	1677,0	1451,2	1668,0	1677,0
		1,0	4839,9	4194,2	3666,5	4183,0	3921,0	4194,2	4183,0
40 Atividades	1	0,0	*	*	*	*	*	*	11105,5
		0,5	*	*	*	*	*	*	11105,5
		1,0	*	*	*	*	*	*	11105,5
	2	0,0	1025,5	857,6	700,1	878,5	693,8	857,6	878,5
		0,5	789,9	851,4	592,7	974,3	686,3	851,4	974,3
		1,0	3769,7	3363,2	2990,5	3622,2	3329,0	3363,2	3622,2
	3	0,0	2233,5	1498,7	1136,1	1928,4	1614,6	1498,7	1928,4
		0,5	2130,5	1798,6	1426,9	2009,3	1672,9	1798,6	2009,3
		1,0	4284,5	4652,9	3908,1	5785,9	5548,1	4652,9	5785,9

FONTE: A autora (2020).

Em outro ponto de vista, tem-se que para 40 atividades, Cenário 3 e $\lambda = 0$, a soma total de atrasos na Política 8 é, aproximadamente, 7,5 vezes maior do que na Política 3. Mesmo o valor comparativo não sendo tão evidente quanto no caso supracitado, ao analisar-se os valores de tempo total em atraso, este exemplo torna-se significativo. Neste caso, o método exato da Política 3 acumula cerca de 19 minutos de atraso total nas atividades realizadas, enquanto a heurística da Política 8 ultrapassa 2 horas e 20 minutos de atraso total. Esta diferença, em um caso real, torna-se crucial para a logística hospitalar e o bem-estar dos pacientes.

De modo geral, nota-se que a ponderação $\lambda = 0$ obteve os melhores resultados para as políticas exatas, já que este caso aborda uma função em que o único objetivo

é minimizar a soma total de atrasos. Além dos valores médios, o APÊNDICE 2 apresenta maiores detalhes sobre os resultados obtidos, como o desvio padrão (DP) e os limites inferior (LI) e superior (LS) em um intervalo com 95% de confiança.

6.2.3 Quantidade de atrasos das atividades

Um dos objetivos do problema de sequenciamento aplicado ao setor intra-hospitalar trata-se da minimização da soma total de atrasos dos atendimentos aos pacientes de um hospital. Porém, além de avaliar o impacto do atraso de modo geral, torna-se importante relatar o número de atrasos, para que a menor quantidade de pacientes seja afetada pelos atrasos ocorridos. Sendo assim, a TABELA 5 descreve, em média, a quantidade de atividades que foram atendidas no prazo, bem como o número de atendimentos atrasados, para 20 atividades realizadas pelos circulantes.

TABELA 5 – QUANTIDADE DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA 20 ATIVIDADES REALIZADAS

Política	Atraso (em s)	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
		$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$
Política 1	0	19,74	19,74	19,06	19,9	20	20	17,5	17,36	15,28
	> 0	0,26	0,26	0,94	0,1	0	0	2,5	2,64	4,72
Política 2	0	19,82	19,82	18,68	20	20	20	18,34	17,88	16,5
	> 0	0,18	0,18	1,32	0	0	0	1,66	2,12	3,5
Política 3	0	19,82	19,82	18,98	20	20	20	19,08	19,04	16,72
	> 0	0,18	0,18	1,02	0	0	0	0,92	0,96	3,28
Política 4	0	19,82	19,8	18,9	19,98	19,96	19,96	17,86	17,72	16,66
	> 0	0,18	0,2	1,1	0,02	0,04	0,04	2,14	2,28	3,34
Política 5	0	19,82	19,8	19,06	19,98	19,96	19,96	17,86	17,72	16,68
	> 0	0,18	0,2	0,94	0,02	0,04	0,04	2,14	2,28	3,32
Política 6	0	19,82	19,82	18,68	20	20	20	18,34	17,88	16,5
	> 0	0,18	0,18	1,32	0	0	0	1,66	2,12	3,5
Política 7	0	19,82	19,8	18,9	19,98	19,96	19,96	17,86	17,72	16,66
	> 0	0,18	0,2	1,1	0,02	0,04	0,04	2,14	2,28	3,34
Política 8	0	18,6	18,6	18,6	19,3	19,3	19,3	15,94	15,94	15,94
	> 0	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	4,06	4,06	4,06

FONTE: A autora (2020).

De modo geral, para 20 atividades, a maioria dos atendimentos ocorre no prazo estabelecido, para todas as políticas de resequenciamento. Nos cenários 1 e 2, verifica-se uma equivalência em relação ao número de atrasos para todas as políticas de resequenciamento, em todas as ponderações consideradas na função objetivo. Em contrapartida, o Cenário 3 possui o maior impacto em relação à quantidade de atividades atrasadas. Em alguns casos, mais do que 4 atividades, em média, estão

atrasadas, ou seja, aproximadamente 20% das atividades efetuadas. Este comportamento pode ser observado tanto nas políticas exatas quanto na heurística, para $\lambda = 1$. Como o Cenário 3 apresenta um número maior de atividades com urgência do Nível 4 e estas atividades possuem um prazo de finalização menor do que os demais níveis de urgência, isto afeta o desempenho do sequenciamento e, consequentemente, gera um maior número de atrasos.

Para 30 atividades, as políticas de resequenciamento que utilizam uma abordagem exata apresentam melhores resultados quando comparadas aos valores encontrados na heurística operacional, conforme pode ser observado na TABELA 6.

TABELA 6 – QUANTIDADE DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA 30 ATIVIDADES REALIZADAS

Política	Atraso (em s)	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
		$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$
Política 1	0	29,52	29,4	29,2	26,84	26,86	25,84	22,2	21,92	21,02
	> 0	0,48	0,6	0,8	3,16	3,14	4,16	7,8	8,08	8,98
Política 2	0	29,56	29,62	27,24	28,14	27,5	24,24	23,24	22,52	21,24
	> 0	0,44	0,38	2,76	1,86	2,5	5,76	6,76	7,48	8,76
Política 3	0	29,92	29,7	29	28,8	28,02	25,5	25,16	25,02	21,94
	> 0	0,08	0,3	1	1,2	1,98	4,5	4,84	4,98	8,06
Política 4	0	29,62	29,62	28,44	27,8	27,38	25,16	22,46	22,4	21,52
	> 0	0,38	0,38	1,56	2,2	2,62	4,84	7,54	7,6	8,48
Política 5	0	29,84	29,7	29,02	27,96	27,6	25,28	23,04	22,92	21,74
	> 0	0,16	0,3	0,98	2,04	2,4	4,72	6,96	7,08	8,26
Política 6	0	29,56	29,62	27,24	28,14	27,5	24,24	23,24	22,52	21,24
	> 0	0,44	0,38	2,76	1,86	2,5	5,76	6,76	7,48	8,76
Política 7	0	29,62	29,62	28,46	27,8	27,38	25,16	22,46	22,4	21,52
	> 0	0,38	0,38	1,54	2,2	2,62	4,84	7,54	7,6	8,48
Política 8	0	27,14	27,14	27,14	21,86	21,86	21,86	15,66	15,66	15,66
	> 0	2,86	2,86	2,86	8,14	8,14	8,14	14,34	14,34	14,34

FONTE: A autora (2020).

No Cenário 1, para $\lambda = 0$ e $\lambda = 0,5$, tem-se que aproximadamente 99% das atividades, em média, são finalizadas no prazo, enquanto para a Política 8 este número se reduz a 90% atendimentos sem atrasos. Já para $\lambda = 1$, a diferença entre as políticas exatas e heurística torna-se menor, chegando a ser semelhante para as políticas P2, P6 e P8.

No segundo cenário, nota-se que as políticas por meio de uma abordagem exata também apresentam resultados superiores à abordagem heurística. Neste cenário, as políticas que utilizam uma abordagem exata possuem, em média, cerca de 90% das atividades finalizadas no prazo, enquanto a Política 8 obtém apenas aproximadamente 73% ou, mais precisamente, uma média de 21,86 atividades

finalizadas no prazo, número bastante reduzido se comparado ao valor percentual do caso com 20 atividades.

Por sua vez, o Cenário 3 apresenta resultados superiores aos da Política 8, em todas as políticas exatas, para todos os pesos da função objetivo analisados. Para as políticas que utilizam uma abordagem exata, tem-se que de 70% a 83% das atividades são finalizadas no prazo (uma média aproximada de 21 a 25 atividades). Já no caso da Política 8, nota-se um número acentuado de atividades atrasadas, chegando a, aproximadamente, metade das atividades em atraso.

Para finalizar as análises referentes ao número de atividades atrasadas, a TABELA 7 apresenta os resultados obtidos para 40 atividades. Para o Cenário 2, obteve-se um total de 30 a 36 atendimentos finalizados no prazo, o que representa um percentual entre, aproximadamente, 75% a 90%. Enquanto para a Política 8, estes valores se reduzem a 58% de atividades sem atraso.

TABELA 7 – QUANTIDADE DE ATRASOS, EM MÉDIA, PARA 40 ATIVIDADES REALIZADAS

Políticas	Atraso (em s)	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
		$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$
Política 1	0	*	*	*	34,28	35,18	30,74	29,96	30,42	31,46
	> 0	*	*	*	5,72	4,82	9,26	10,04	9,58	8,54
Política 2	0	*	*	*	34,82	34,54	30,5	33	32,06	30,34
	> 0	*	*	*	5,18	5,46	9,5	7	7,94	9,66
Política 3	0	*	*	*	35,8	35,94	32,26	33,92	33,52	32,44
	> 0	*	*	*	4,2	4,06	7,74	6,08	6,48	7,56
Política 4	0	*	*	*	34,82	34,6	31,9	31,38	31,02	28,98
	> 0	*	*	*	5,18	5,4	8,1	8,62	8,98	11,02
Política 5	0	*	*	*	35,36	35,76	32,56	32,28	32,14	29,8
	> 0	*	*	*	4,64	4,24	7,44	7,72	7,86	10,2
Política 6	0	*	*	*	34,82	34,54	30,5	33	32,06	30,34
	> 0	*	*	*	5,18	5,46	9,5	7	7,94	9,66
Política 7	0	*	*	*	34,82	34,6	31,9	31,38	31,02	28,98
	> 0	*	*	*	5,18	5,4	8,1	8,62	8,98	11,02
Política 8	0	21,86	21,86	21,86	23,26	23,26	23,26	22,4	22,4	22,4
	> 0	18,14	18,14	18,14	16,74	16,74	16,74	17,6	17,6	17,6

FONTE: A autora (2020).

No Cenário 3, as políticas exatas encontram de 72% a 85% das atividades finalizadas sem atraso, para todos os pesos da função objetivo. Além disso, analisa-se os valores encontrados pela heurística operacional e, neste caso, apenas 56% das atividades são finalizadas sem atraso.

Em resumo, o Cenário 1 garante que a maioria das atividades seja finalizada no prazo estabelecido, para todas as políticas de resequenciamento. Além disso, como existem poucas atividades com o maior nível de urgência para este cenário, o método de resequenciamento estabelece, de modo geral, a melhor posição para se alocarem estas atividades, o que garante um desenvolvimento superior das políticas que utilizam o método exato para o resequenciamento.

No Cenário 2, nota-se que a heurística operacional obtém resultados similares às demais políticas para 20 atividades, porém seus resultados se tornam piores a medida que a quantidade de atividades aumenta, resultando em aproximadamente 58% de atividades finalizadas no prazo para o caso com 40 atividades, enquanto algumas políticas que utilizam o método exato chegam a até, aproximadamente, 90% de atendimentos sem atrasos, uma melhora significativa se comparada à heurística utilizada pelos circulantes do hospital.

Por sua vez, o Cenário 3 é aquele que possui maior discrepância entre os resultados das políticas de acordo com as abordagens exatas e heurística. À medida que o número de atividades aumenta, a quantidade de atendimentos sem atraso é reduzida em um intervalo de, aproximadamente, 72% a 85% para as Políticas 1 a 7. Já para a Política 8, alguns casos chegam a aproximadamente metade das atividades finalizadas com atraso.

6.2.4 Tempo computacional para a execução do resequenciamento

De acordo com as análises obtidas nas seções anteriores, nota-se que a Política 3 obteve, em suma, a maioria dos resultados superiores em relação às demais políticas por meio da abordagem exata e, principalmente, em relação a heurística operacional. Nesta análise, deseja-se avaliar o tempo computacional para cada política de resequenciamento efetuada. Deste modo, a TABELA 8 apresenta a média do tempo de execução, em segundos, para 20, 30 e 40 atividades, de acordo com cada ponderação na função objetivo e cada cenário de urgências proposto. O APÊNDICE 3 apresenta maiores detalhes sobre os resultados obtidos, como o desvio padrão (DP) e os limites inferior (LI) e superior (LS) em um intervalo com 95% de confiança.

Como esperado, o tempo médio de execução da heurística operacional é menor, em geral, do que o tempo computacional utilizado para realizar um resequenciamento por meio da abordagem exata. Porém, em alguns casos, estes

valores se tornam muito parecidos, como pode-se observar para o caso com 20 atividades. Nota-se, neste caso, que os cenários 1 e 2 utilizam pouco tempo computacional para a execução do resequenciamento para todas as políticas avaliadas. Em relação ao terceiro cenário, pode-se observar que este valor aumenta para a Política 3.

TABELA 8 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO, EM MÉDIA, DAS POLÍTICAS DE RESEQUENCIAMENTO PROPOSTAS

RESEQUENCIAMENTO PROPOSTAS										
		λ	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
20 Atividades	Cenário 1	0,0	0,43	0,25	0,29	0,21	0,29	0,24	0,24	0,01
		0,5	0,69	0,43	31,60	0,43	19,14	0,42	0,44	0,03
		1,0	0,74	0,39	0,53	0,38	0,50	0,39	0,42	0,03
	Cenário 2	0,0	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11	0,15	0,12	0,01
		0,5	0,18	0,20	0,17	0,18	0,16	0,18	0,17	0,03
		1,0	0,17	0,20	0,16	0,17	0,15	0,17	0,16	0,03
	Cenário 3	0,0	0,47	0,29	19,39	0,33	0,33	0,30	0,34	0,01
		0,5	0,54	0,41	101,98	0,42	0,41	0,44	0,41	0,04
		1,0	0,57	0,38	105,60	0,39	0,39	0,37	0,39	0,04
30 Atividades	Cenário 1	0,0	0,46	0,33	0,43	0,36	0,39	0,32	0,37	0,01
		0,5	0,55	48,50	0,89	20,19	28,89	43,76	39,58	0,03
		1,0	0,54	126,39	0,48	56,61	27,27	123,10	61,88	0,04
	Cenário 2	0,0	49,90	28,31	29,09	19,35	44,25	25,71	17,32	0,01
		0,5	55,53	183,34	230,68	136,47	161,11	203,63	125,41	0,04
		1,0	80,81	263,74	0,81	116,54	172,56	251,31	113,83	0,03
	Cenário 3	0,0	339,57	304,75	290,29	367,92	347,36	327,99	376,08	0,01
		0,5	344,66	348,54	393,06	329,52	348,81	403,28	330,04	0,03
		1,0	179,46	255,04	126,89	437,01	368,87	245,13	460,27	0,03
40 Atividades	Cenário 1	0,0	*	*	*	*	*	*	*	0,01
		0,5	*	*	*	*	*	*	*	0,03
		1,0	*	*	*	*	*	*	*	0,03
	Cenário 2	0,0	313,69	298,38	349,21	270,17	261,02	300,15	229,61	0,01
		0,5	393,33	410,86	375,43	390,04	385,93	409,64	372,90	0,03
		1,0	656,12	350,74	318,17	339,13	294,47	366,57	354,48	0,03
	Cenário 3	0,0	284,65	305,06	282,32	289,27	281,83	283,13	326,01	0,01
		0,5	219,62	257,75	250,08	208,16	235,84	264,89	210,87	0,03
		1,0	183,73	106,27	107,94	210,81	262,52	105,78	206,87	0,03

FONTE: A autora (2020).

Por sua vez, os casos com 30 e 40 atividades tornam-se mais complexos e, conseqüentemente, demandam maior tempo computacional para serem efetuados. Em contrapartida, nota-se que, mesmo aumentando-se o tempo de execução do resequenciamento por meio das políticas exatas, este valor é inferior, em média, a

700 s para todos os conjuntos de testes, o que pode ser considerado aceitável, já que uma abordagem exata traz tantos resultados positivos em relação aos objetivos do problema proposto.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS

Para finalizar este capítulo, busca-se destacar as principais considerações sobre os resultados obtidos para o problema proposto. As análises e discussões realizadas na seção anterior apontam que a Política 3 obteve os melhores resultados para a maioria dos conjuntos de testes avaliados. Esta política realiza um resequenciamento das atividades hospitalares a partir de um bloco de tempo decorrido ao longo do período de trabalho.

Para o caso de minimização do *makespan*, a Política 3 obteve os melhores resultados para o terceiro cenário (maior quantidade de urgências) e $\lambda = 1$ (minimizar apenas o *makespan*), ultrapassando 30% de melhoria quando comparada à Política 8. Em relação à soma total de atrasos nos atendimentos e a quantidade de atividades em atraso, nota-se que a Política 3 alcançou os melhores resultados e, quando comparada aos valores obtidos para o método heurístico, reduziu, em alguns casos, aproximadamente 2 horas na soma total de atrasos dos atendimentos.

Os resultados gerais mostram a importância de um resequenciamento de caráter dinâmico aplicado ao setor intra-hospitalar, já que a Política 3 atualiza o cronograma de atividades a cada intervalo de tempo, de acordo com novas atividades solicitadas no decorrer do turno de trabalho. Sendo assim, as atividades com o maior nível de urgência e, conseqüentemente, prioridade de atendimento, não afetam demasiadamente o cronograma prévio dos circulantes e o tempo de espera dos pacientes.

7 CONCLUSÃO

No capítulo anterior, analisou-se o processo de resequenciamento online aplicado ao setor intra-hospitalar, de acordo com a chegada de novas atividades e seus níveis de urgência. Para a realização dos testes computacionais, considerou-se um conjunto com o total de 20, 30 e 40 atividades, respectivamente. Além disto, 3 diferentes cenários foram criados para se avaliar o impacto da quantidade de urgências em uma rotina hospitalar: I) no primeiro cenário, considera-se poucas urgências do Nível 4; II) no segundo cenário, a quantidade de atividades de cada nível de urgência está balanceada; e III) no terceiro cenário, existem muitas atividades com a maior urgência estabelecida.

Em relação à função objetivo, três diferentes ponderações foram avaliadas ($\lambda = 0$, $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$). No caso de $\lambda = 0$, tem-se que a função objetivo busca minimizar apenas a soma total de atrasos das atividades. Para $\lambda = 0,5$, existe a mesma ponderação entre ambos os objetivos do problema. Já para $\lambda = 1$, minimiza-se apenas o tempo máximo de conclusão das atividades. Por sua vez, o método de resequenciamento foi aplicado por meio de oito políticas de resequenciamento, sendo que da Política 1 a Política 7, utiliza-se uma abordagem exata para o resequenciamento, enquanto a Política 8 trata-se de uma heurística operacional comumente aplicada em situações reais para o sistema hospitalar. Por fim, um total de 50 replicações foram efetuadas para cada conjunto de testes efetuado.

A primeira análise refere-se aos resultados em relação ao desvio percentual médio quanto ao tempo máximo de conclusão das atividades, também conhecido como *makespan*, das políticas exatas (Política 1 a Política 7) em relação à Política 8. Para estes resultados, observou-se que, de modo geral, as políticas exatas possuem resultados superiores aos da Política 8. Notou-se que, para $\lambda = 0$, estes valores possuem os menores acréscimos em relação à heurística operacional e, para $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$, o desvio percentual médio aumenta, ultrapassando 30% para a Política 3 (por bloco de tempo), em alguns casos, quando $\lambda = 1$. Isto demonstra que, mesmo sem a função objetivo abordar a minimização do *makespan* ($\lambda = 0$), algumas abordagens exatas encontram resultados melhores do que o método heurístico, o que se torna cada vez mais evidente, quando a função objetivo passa a minimizar o *makespan* e a

soma total dos atrasos ($\lambda = 0,5$) e apenas o *makespan* ($\lambda = 1$), caso com os maiores ganhos das políticas exatas, em especial, para a Política 3.

Em seguida, analisou-se a soma total dos atrasos das atividades. Estes resultados possuem extrema importância para o setor hospitalar, já que se procura realizar a maioria dos atendimentos no prazo para evitar o descontentamento dos pacientes. Novamente, verificou-se que as políticas exatas possuem, em geral, os melhores resultados. Além disso, destacam-se os resultados obtidos pela Política 3, chegando a obter uma diminuição no atraso total de mais do que 2 horas, em alguns casos. Além disso, no Cenário 1 e $\lambda = 1$, a Política 1 (a cada nova atividade solicitada) obteve os melhores resultados.

Na terceira análise, observou-se como a soma total dos atrasos pode impactar na quantidade média de atividades finalizadas no prazo estipulado. Sendo assim, notou-se que, à medida em que se aumenta a quantidade de urgências do Nível 4, mais atividades são finalizadas após o prazo de finalização desejado. Em contrapartida, mesmo que o número de tarefas atrasadas aumente do Cenário 1 para o Cenário 3, verificou-se que, para todas as políticas por meio de uma abordagem exata, este número se limita a, no máximo, 30% de atividades finalizadas com atraso. Já para a heurística operacional este número chega a, aproximadamente, metade das atividades realizadas.

Por fim, realizou-se uma análise quanto ao tempo computacional de execução do resequenciamento para todas as políticas propostas. Neste contexto, verificou-se que, por mais que a heurística operacional tenha o menor tempo de execução entre as abordagens realizadas, o tempo computacional médio utilizado para efetuar as políticas exatas não compromete o dia de trabalho do hospital, ao passo que encontra soluções extremamente superiores em relação a ambos os objetivos supracitados.

Portanto, de maneira geral, a Política 3 obteve o melhor desempenho para ambos os objetivos do problema. Estes resultados mostram que, em um caso hospitalar real cujo turno possui maior fluxo de atividades, pode-se otimizar o desempenho dos circulantes e o horário de atendimento dos pacientes quando as interrupções no cronograma prévio são realizadas a cada intervalo de tempo estabelecido.

7.1 PROPOSTAS FUTURAS

Primeiramente, analisa-se a proposta de se aplicarem heurísticas ou metaheurísticas que possam resolver problemas de grande porte, em um tempo computacional coerente. Em seguida, apresenta-se uma proposta de se desenvolverem novas aplicações em relação ao sistema de saúde, de modo a explorar outras características presentes em um setor intra-hospitalar.

7.1.1 Abordagem Heurística/Metaheurística

Como um problema de resequenciamento biobjetivo em máquinas paralelas é considerado *NP-hard*, torna-se importante desenvolver métodos aproximados, como as heurísticas ou metaheurísticas, para encontrar uma solução próxima à ótima em um tempo computacional aceitável.

De acordo com a revisão de literatura apresentada neste trabalho, nota-se que o Algoritmo Genético é uma das principais metaheurísticas que tem sido adaptada para problemas multiobjetivo, em especial, para a já conhecida *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II). Esta abordagem busca, a cada geração de uma nova população, identificar soluções não-dominadas pertencentes a fronteira de Pareto (BERRICHI et al., 2009). Como o NSGA-II é usualmente escolhido para examinar o desempenho de outras abordagens heurísticas, uma possibilidade de pesquisas futuras trata-se da implementação deste método para o resequenciamento aplicado ao setor intrahospitalar.

A abordagem híbrida é uma técnica que também tem apresentado crescente desenvolvimento em trabalhos multiobjetivos. A ideia básica deste método é unir as principais características de cada metaheurística envolvida, de modo que a nova abordagem possa preencher as lacunas que ainda não foram sanadas por um dos métodos tradicionais. O trabalho de Behnamian et al. (2010), por exemplo, considera a hibridização das metaheurísticas ACO, VNS e SA para a resolução de duas fases de seu algoritmo proposto. Deste modo, com base no trabalho de Behnamian et al. (2010), pode-se explorar algumas formas de aplicação de um método híbrido para o problema abordado. Além das abordagens sugeridas, existem diversas possibilidades de criação/adaptação de métodos heurísticos e metaheurísticas que podem se encaixar ao problema de sequenciamento intra-hospitalar. Novamente, a revisão de

literatura apresentada anteriormente, revela um vasto campo para se utilizar estes métodos de otimização.

Além disso, como já citado nas limitações deste trabalho, a implementação do método de resequenciamento em uma plataforma online está em aberto na literatura, o que pode ser proposto para a abordagem exata e demais métodos a serem desenvolvidos posteriormente. Criar um sistema de resequenciamento em uma plataforma online possui extrema importância para a aplicação hospitalar, já que permite a conexão entre funcionários do hospital, facilita a comunicação e geração de novas informações, minimiza o impacto de imprevistos ao longo do dia de trabalho e otimiza a rotina de todo o setor hospitalar.

7.1.2 Aplicação em Problemas Reais

Diante das dificuldades encontradas no setor hospitalar (por exemplo, recursos limitados e aumento na demanda), os gestores responsáveis por esse setor buscam garantir a qualidade de atendimento aos pacientes, sem aumentar os custos operacionais do sistema de saúde. Deste modo, a Pesquisa Operacional pode ser utilizada como ferramenta para otimizar o desenvolvimento neste setor.

Neste trabalho, buscou-se aplicar um resequenciamento de produção em um sistema dinâmico real, com o objetivo de minimizar o impacto causado nos objetivos do problema proposto, à medida que novas atividades são solicitadas aos enfermeiros, de acordo com o seu nível de urgência. Em contrapartida, sabe-se que, por mais que diversas características hospitalares tenham sido utilizadas para a realização deste resequenciamento, muitas outras podem ser acrescentadas, deixando o problema ainda mais dinâmico e realístico. Como exemplo, pode-se considerar que mais do que um circulante esteja realizando o atendimento de um único paciente por vez ou que cada circulante tenha o direito de realizar pausas para descanso, a cada subperíodo, entre outras possibilidades de aplicação no sequenciamento intrahospitalar.

Outra possibilidade para trabalhos futuros trata-se da possibilidade de alterar o nível de prioridade de um atendimento ao longo do dia de trabalho, de acordo com o tempo de espera que determinada atividade aguarda para ser efetuada. Esta sugestão torna-se viável e interessante, já que os resultados desta pesquisa apontaram que os atendimentos prioritários impactam consideravelmente a sequência estabelecida, de acordo com o cenário avaliado.

REFERÊNCIAS

AFZALIRAD, M.; REZAEIAN, J. A realistic variant of bi-objective unrelated parallel machine scheduling problem: NSGA-II and MOACO approaches. **Applied Soft Computing Journal**, v. 50, p. 109–123, 2017.

ALLAHVERDI, A.; AYDILEK, H.; AYDILEK, A. Single machine scheduling problem with interval processing times to minimize mean weighted completion time. **Computers & Operations Research**, v. 51, p. 200–207, 2014.

ALLAHVERDI, A.; SOROUSH, H. M. The significance of reducing setup times/setup costs. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 978–984, 2008.

ARAGON, L. G.; CURE, L.; TIONG, E.; BUSH, R. Modeling and analysis of short-term work planning in inpatient care settings. **Operations Research for Health Care**, v. 19, p. 14–25, 2018.

AUGUSTO, V.; XIE, X. Redesigning pharmacy delivery processes of a health care complex. **Health Care Management Science**, v. 12, n. 2, p. 166–178, 2009.

AYTUG, H.; LAWLEY, M. A.; MCKAY, K.; MOHAN, S.; UZSOY, R. Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. **European Journal of Operational Research**, v. 161, n. 1, p. 86–110, 2005.

AZZI, A.; PERSONA, A.; SGARBOSSA, F.; BONIN, M. Drug inventory management and distribution: outsourcing logistics to third party providers. **Strategic Outsourcing: An International Journal**, v. 6, n. 1, p. 48–64, 2013.

BAESLER, F.; PALMA, C. Multiobjective parallel machine scheduling in the sawmill industry using memetic algorithms. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 74, n. 5–8, p. 757–768, 2014.

BAGHERI, M.; GHOLINEJAD DEVIN, A.; IZANLOO, A. An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital. **Computers and Industrial Engineering**, v. 96, p. 192–200, 2016.

BAKER, K. R.; TRIETSCH, D. **Principles of sequencing and scheduling**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

BANERJEA-BRODEUR, M.; CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G.; LASRY, A. Scheduling linen deliveries in a large hospital. **Journal of the Operational Research Society**, v. 49, n. 8, p. 777–780, 1998.

BEHNAMIAN, J.; ZANDIEH, M.; FATEMI GHOMI, S. M. T. A multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective parallel machine scheduling. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 17, p. 4949–4976, 2010.

BEHNAMIAN M; ZANDIEH, J.; GHOMI, S. M. T. F. Bi-objective parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times using hybrid metaheuristics and weighted min – max technique. **Soft Comput**, v. 15, p. 1313–1331, 2011.

BERRICHI, A.; AMODEO, L.; YALAOUI, F.; CHÂTELET, E.; MEZGHICHE, M. Bi-objective optimization algorithms for joint production and maintenance scheduling: application to the parallel machine problem. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 20, n. 4, p. 389–400, 2009.

BIJVANK, M.; VIS, I. F. A. Inventory control for point-of-use locations in hospitals. **Journal of the Operational Research Society**, v. 63, n. 4, p. 497–510, 2012.

BŁAŻEWICZ, J.; DOMSCHKE, W.; PESCH, E. The job shop scheduling problem: Conventional and new solution techniques. **European Journal of Operational Research**, v. 93, n. 1, p. 1–33, 1996.

BOZORGIRAD, M. A.; LOGENDRAN, R. Sequence-dependent group scheduling problem on unrelated-parallel machines. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 10, p. 9021–9030, 2012.

BRAEKERS, K.; HARTL, R. F.; PARRAGH, S. N.; TRICOIRE, F. A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 2, p. 428–443, 2016.

BURKE, E. K.; DE CAUSMAECKER, P.; PETROVIC, S.; BERGHE, G. VANDEN. Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling. **Applied Artificial Intelligence**, v. 20, n. 9, p. 743–766, 2006.

CAMPBELL, G. M. On-call overtime for service workforce scheduling when demand is uncertain. **Decision Sciences**, v. 43, n. 5, p. 817–850, 2012.

CATTAFI, M.; HERRERO, R.; GAVANELLI, M.; NONATO, M.; MALUCELLI, F. An application of constraint solving for home health care. **AI Communications**, v. 28, n. 2, p. 215–237, 2015.

CESCHIA, S.; SCHAERF, A. Local search and lower bounds for the patient admission scheduling problem. **Computers and Operations Research**, v. 38, n. 10, p. 1452–1463, 2011.

CESCHIA, S.; SCHAERF, A. Modeling and solving the dynamic patient admission scheduling problem under uncertainty. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 56, n. 3, p. 199–205, 2012.

CESCHIA, S.; SCHAERF, A. Dynamic patient admission scheduling with operating room constraints, flexible horizons, and patient delays. **Journal of Scheduling**, v. 19, n. 4, p. 377–389, 2016.

CIAVOTTA, M.; MELONI, C.; PRANZO, M. Scheduling Dispensing and Counting in Secondary Pharmaceutical Manufacturing. **AIChE Journal**, v. 55, n. 5, p. 1161–1170, 2009.

DA SILVA, N. C. O.; SCARPIN, C. T.; PECORA JUNIOR, J. E.; RUIZ, A. Online single machine scheduling with setup times depending on the jobs sequence. **Computers & Industrial Engineering**, v. 129, p. 251–258, 2019.

DANIEL WRIGHT, P.; BRETTHAUER, K. M.; CÔTÉ, M. J. Reexamining the nurse scheduling problem: Staffing ratios and nursing shortages. **Decision Sciences**, v. 37, n. 1, p. 39–69, 2006.

DAUOD, H.; LI, D.; YOON, S. W.; SRIHARI, K. Multi-objective optimization of the order scheduling problem in mail-order pharmacy automation systems. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 99, p. 73–83, 2018.

DEB, K.; PRATAP, A.; AGARWAL, S.; MEYARIVAN, T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, v. 6, n. 2, p. 182–197, 2002.

DEMEESTER, P.; SOUFFRIAU, W.; DE CAUSMAECKER, P.; VANDEN BERGHE, G. A hybrid tabu search algorithm for automatically assigning patients to beds. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 48, n. 1, p. 61–70, 2010.

DEMIRBILEK, M.; BRANKE, J.; STRAUSS, A. Dynamically accepting and scheduling patients for home healthcare. **Health Care Management Science**, v. 22, n. 1, p. 140–155, 2019.

DEY, P. K.; HARIHARAN, S.; BROOKES, N. Managing healthcare quality using logical framework analysis. **Managing Service Quality**, v. 16, n. 2, p. 203–222, 2006.

GAO, J. A novel artificial immune system for solving multiobjective scheduling problems subject to special process constraint. **Computers and Industrial Engineering**, v. 58, n. 4, p. 602–609, 2010.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness**. New York, NY, USA: W. H. Freeman & Co., 1990.

GEORGIADIS, P.; MICHALOUDIS, C. Real-time production planning and control system for job-shop manufacturing : A system dynamics analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 216, n. 1, p. 94–104, 2012.

GONZALEZ, T.; SAHNI, S. Open Shop Scheduling to Minimize Finish Time. **Journal of the ACM**, v. 23, n. 4, p. 665–679, 1976.

GRAHAM, R. L.; LAWLER, E. L.; LENSTRA, J. K.; KAN, A. H. G. R. Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: a Survey. **Discrete Optimization II**, v. 5, p.287–326, 1979.

GRANJA, C.; ALMADA-LOBO, B.; JANELA, F.; SEABRA, J.; MENDES, A. An optimization based on simulation approach to the patient admission scheduling problem using a linear programming algorithm. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 52, p. 427–437, 2014.

GRIMME, C.; LEPPING, J.; SCHWIEGELSHOHN, U. Multi-criteria scheduling: An agent-based approach for expert knowledge integration. **Journal of Scheduling**, v. 16, n. 4, p. 369–383, 2013.

GUERRERO, W. J.; YEUNG, T. G.; GUÉRET, C. Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints. **European Journal of Operational Research**, v. 231, n. 1, p. 98–108, 2013.

GUPTA, J. N. D.; RUIZ-TORRES, A. J. Generating efficient schedules for identical parallel machines involving flow-time and tardy jobs. **European Journal of Operational Research**, v. 167, n. 3, p. 679–695, 2005.

HALL, N. G.; LIU, Z.; POTTS, C. N. Rescheduling for Multiple New Orders. **Journal on Computing**, v. 19, n. 4, p. 633–645, 2007.

VAN HOP, N.; NAGARUR, N. N. The scheduling problem of PCBs for multiple non-identical parallel machines. **European Journal of Operational Research**, v. 158, n. 3, p. 577–594, 2004.

HUANG, C. J.; LIAO, L. M. A multi-agent-based negotiation approach for parallel machine scheduling with multi-objectives in an electro-etching process. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 20, p. 5719–5733, 2012.

HUO, Y. Parallel machine makespan minimization subject to machine availability and total completion time constraints. **Journal of Scheduling**, v. 22, n. 4, p. 433–447, 2019.

JIA, Z.; PEI, M.; LEUNG, J. Y.-T. Multi-objective ACO algorithms to minimise the makespan and the total rejection cost on BPMs with arbitrary job weights. **International Journal of Systems Science**, v. 48, n. 16, p. 3542–3557, 2017.

JUNGWATTANAKIT, J.; REODECHA, M.; CHAOVALITWONGSE, P.; WERNER, F. Algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 37, n. 3–4, p. 354–370, 2008.

KAYVANFAR, V.; ZANDIEH, M.; TEYMOURIAN, E. An intelligent water drop algorithm to identical parallel machine scheduling with controllable processing times: a just-in-time approach. **Computational and Applied Mathematics**, v. 36, n. 1, p. 159–184, 2017.

VAN DE KLUNDERT, J.; MULS, P.; SCHADD, M. Optimizing sterilization logistics in hospitals. **Health Care Management Science**, v. 11, n. 1, p. 23–33, 2008.

LEUNG, J. Y.-T.; LEE, K.; PINEDO, M. L. Bi-criteria scheduling with machine assignment costs. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 1, p. 321–329, 2012.

LI, X.; CHEHADE, H.; YALAOUI, F.; AMODEO, L. Fuzzy Logic Controller Based Multiobjective Metaheuristics to Solve a Parallel Machines Scheduling Problem. **J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing**, v. 18, p. 617–636, 2012.

LI, X.; YALAOUI, F.; AMODEO, L.; CHEHADE, H. Metaheuristics and exact methods to solve a multiobjective parallel machines scheduling problem. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 23, n. 4, p. 1179–1194, 2012.

LIANG, Y. C.; HSIAO, Y. M.; TIEN, C. Y. Metaheuristics for drilling operation scheduling in Taiwan PCB industries. **International Journal of Production Economics**, v. 141, n. 1, p. 189–198, 2013.

LIAO, W.; CHEN, M.; YANG, X. Joint optimization of preventive maintenance and production scheduling for parallel machines system. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 32, p. 913–923, 2017.

LITTLE, J.; COUGHLAN, B. Optimal inventory policy within hospital space constraints. **Health Care Management Science**, v. 11, n. 2, p. 177–183, 2008.

LIU, C. H.; TSAI, W. N. Multi-objective parallel machine scheduling problems by considering controllable processing times. **Journal of the Operational Research Society**, v. 67, n. 4, p. 654–663, 2016.

MOHRI, S.; MASUDA, T.; ISHII, H. Bi-criteria scheduling problem on three identical parallel machines. **International Journal of Production Economics**, v. 60–61, p. 529–536, 1999.

NADERI-BENI, M.; GHOBADIAN, E.; EBRAHIMNEJAD, S.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. Fuzzy bi-objective formulation for a parallel machine scheduling problem with machine eligibility restrictions and sequence-dependent setup times. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 19, p. 5799–5822, 2014.

PAKZAD-MOGHADDAM, S. H. A Lévy flight embedded particle swarm optimization for multi-objective parallel-machine scheduling with learning and adapting considerations. **Computers and Industrial Engineering**, v. 91, p. 109–128, 2016.

PAN, Z.; LEI, D.; ZHANG, Q. A New Imperialist Competitive Algorithm for Multiobjective Low Carbon Parallel Machines Scheduling. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2018, p. 1–13, 2018.

PINEDO, M. L. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. 3rd ed. Springer Publishing Company, 2008.

RAJKUMAR, K.; NARENDRAN, T. T. A bi-criteria model for loading on PCB assembly machines. **Production Planning and Control**, v. 8, n. 8, p. 743–753, 1997.

REGO, N.; CLARO, J.; PINHO DE SOUSA, J. A hybrid approach for integrated healthcare cooperative purchasing and supply chain configuration. **Health Care Management Science**, v. 17, n. 4, p. 303–320, 2014.

ROSS, A. D.; JAYARAMAN, V. Strategic purchases of bundled products in a health care supply chain environment. **Decision Sciences**, v. 40, n. 2, p. 269–293, 2009.

RUIZ-TORRES, A. J.; EMORY ENSCORE, E.; BARTON, R. R. Simulated annealing heuristics for the average flow-time and the number of tardy jobs bi-criteria identical parallel machine problem. **Computers & Industrial Engineering**, v. 33, n. 1–2, p. 257–260, 1997.

RUIZ-TORRES, A. J.; LPEZ, F. J.; HO, J. C.; WOJCIECHOWSKI, P. J. Minimizing the average tardiness: The case of outsource machines. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 13, p. 3615–3640, 2008.

RUIZ-TORRES, A. J.; PALETTA, G.; MAHMOODI, F.; ABLANEDO-ROSAS, J. H. Scheduling assemble-to-order systems with multiple cells to minimize costs and tardy deliveries. **Computers and Industrial Engineering**, v. 115, p. 290–303, 2018.

SABOUNI, M. T. Y.; JOLAI, F.; MANSOURI, A. Heuristics for minimizing total completion time and maximum lateness on identical parallel machines with setup times. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 21, n. 4, p. 439–449, 2010.

SAFARZADEH, H.; TAGHI, S.; NIAKI, A. Bi-Objective Green Scheduling in Uniform Parallel Machine Environments. **Journal of Cleaner Production**, 2019.

SCHALLER, J. Note on Shim and Kim's lower bounds for scheduling on identical parallel machines to minimize total tardiness. **European Journal of Operational Research**, v. 197, n. 1, p. 422–426, 2009.

SETÄMAA-KÄRKÄINEN, A.; MIETTINEN, K.; VUORI, J. Best compromise solution for a new multiobjective scheduling problem. **Computers and Operations Research**, v. 33, n. 8, p. 2353–2368, 2006.

SETÄMAA-KÄRKÄINEN, A.; MIETTINEN, K.; VUORI, J. Heuristic for a new multiobjective scheduling problem. **Optimization Letters**, v. 1, n. 3, p. 213–225, 2007.

SHAHVARI, O.; LOGENDRAN, R. A bi-objective batch processing problem with dual-resources on unrelated-parallel machines. **Applied Soft Computing**, v. 61, p. 174–192, 2017.

TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; TAHERI, F.; BAZZAZI, M.; IZADI, M.; SASSANI, F. Design of a genetic algorithm for bi-objective unrelated parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times and precedence constraints. **Computers and Operations Research**, v. 36, n. 12, p. 3224–3230, 2009.

TIGANE, M.; DAHANE, M.; BOUDHAR, M. Multiobjective approach for deteriorating jobs scheduling for a sustainable manufacturing system. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 101, p. 1939–1957, 2019.

VIEIRA, G. E.; HERRMANN, J. W.; LIN, E. Rescheduling Manufacturing Systems: A Framework of Strategies, Policies, and Methods. **Journal of Scheduling**, v. 6, n. 1, p. 39–62, 2003.

VOLLAND, J.; FÜGENER, A.; SCHOENFELDER, J.; BRUNNER, J. O. Material logistics in hospitals: A literature review. **Omega (United Kingdom)**, v. 69, p. 82–101, 2017.

ZANDA, S.; ZUDDAS, P.; SEATZU, C. Long term nurse scheduling via a decision support system based on linear integer programming: A case study at the University Hospital in Cagliari. **Computers and Industrial Engineering**, v. 126, p. 337–347, 2018.

ZANDI, A.; RAMEZANIAN, R.; MONPLAISIR, L. Green parallel machines scheduling problem : A bi-objective model and a heuristic algorithm to obtain Pareto frontier. **Journal of the Operational Research Society**, p. 1–12, 2019.

ZARANDI, M. H. F.; KAYVANFAR, V. A bi-objective identical parallel machine scheduling problem with controllable processing times: a just-in-time approach.

International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 77, n. 1–4, p. 545–563, 2015.

ZHAO, H.; XIONG, C.; GAVIRNENI, S.; FEIN, A. Fee-for-service contracts in pharmaceutical distribution supply chains: Design, analysis, and management. **Manufacturing and Service Operations Management**, v. 14, n. 4, p. 685–699, 2012.

ZHENG, X. L.; WANG, L. A Collaborative Multiobjective Fruit Fly Optimization Algorithm for the Resource Constrained Unrelated Parallel Machine Green Scheduling Problem. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 48, n. 5, p. 790–800, 2018.

APÊNDICE 1

A seguir, descreve-se os resultados obtidos em relação ao desvio percentual entre o *makespan* das políticas de resequenciamento que utilizam a abordagem exata e o *makespan* da Política 8, denominada heurística operacional. As tabelas abaixo apresentam os valores médios dos desvios percentuais, assim como o desvio padrão (DP), o limite inferior (LI) e o limite superior (LS), para um total de 20, 30 e 40 atividades a serem efetuadas pelos circulantes de um hospital. Além disso, foram analisados os pesos da função objetivo ($\lambda = 0$, $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$) e os cenários de urgência dessas atividades.

TABELA 9 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 1 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	3,34	12,32	-0,16	6,84	8,78	11,39	5,55	12,02	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	21,12	5,13	19,66	22,58	24,31	4,93	22,91	25,71	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	21,91	5,10	20,46	23,36	25,45	4,42	24,20	26,71	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	6,89	13,12	3,16	10,62	7,97	8,84	5,46	10,48	14,46	5,94	12,77	16,15
	$\lambda = 0,5$	11,77	9,22	9,15	14,39	18,65	4,69	17,31	19,98	24,71	4,81	23,34	26,07
	$\lambda = 1,0$	11,77	9,22	9,15	14,39	15,79	4,41	14,53	17,04	25,57	3,49	24,58	26,56
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	2,91	13,86	-1,03	6,85	10,89	6,79	8,96	12,82	12,30	4,89	10,91	13,68
	$\lambda = 0,5$	13,97	8,42	11,57	16,36	20,06	5,64	18,46	21,66	19,04	4,86	17,66	20,42
	$\lambda = 1,0$	18,13	7,58	15,97	20,28	24,70	3,58	23,69	25,72	29,14	3,45	28,16	30,12

FONTE: A autora (2020).

TABELA 10 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 2 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	4,23	12,85	0,58	7,88	7,70	9,08	5,12	10,28	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	21,80	4,90	20,40	23,19	23,50	5,98	21,80	25,20	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	21,49	5,13	20,04	22,95	24,84	4,45	23,57	26,10	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	-11,65	15,97	-16,19	-7,11	8,56	7,00	6,57	10,55	13,77	6,00	12,06	15,47
	$\lambda = 0,5$	12,53	9,05	9,96	15,11	19,70	5,00	18,28	21,12	23,00	5,15	21,54	24,47
	$\lambda = 1,0$	12,65	9,13	10,06	15,25	21,06	4,14	19,89	22,24	24,85	3,52	23,85	25,86
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	2,10	13,29	-1,68	5,88	11,14	6,48	9,30	12,98	14,06	5,96	12,37	15,75
	$\lambda = 0,5$	16,67	9,75	13,90	19,44	20,85	5,46	19,29	22,40	19,92	5,78	18,28	21,56
	$\lambda = 1,0$	22,29	7,19	20,24	24,33	28,36	3,40	27,39	29,33	25,98	3,60	24,96	27,01

FONTE: A autora (2020).

TABELA 11 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 3 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	-3,41	13,56	-7,26	0,45	5,31	10,21	2,41	8,22	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	24,79	4,87	23,40	26,17	24,68	4,88	23,30	26,07	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	25,23	4,88	23,84	26,62	24,46	4,48	23,19	25,73	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	-14,63	16,34	-19,28	-9,99	7,12	8,67	4,65	9,58	13,66	5,29	12,16	15,16
	$\lambda = 0,5$	19,08	8,46	16,68	21,49	19,02	5,14	17,56	20,48	24,25	4,76	22,90	25,60
	$\lambda = 1,0$	19,08	8,46	16,68	21,49	17,46	4,32	16,23	18,69	27,54	3,40	26,58	28,51
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	0,40	13,95	-3,57	4,36	12,06	5,39	10,53	13,60	12,55	5,82	10,90	14,21
	$\lambda = 0,5$	19,84	11,04	16,71	22,98	23,15	5,37	21,63	24,68	21,78	5,36	20,26	23,31
	$\lambda = 1,0$	31,55	6,34	29,75	33,35	30,89	3,28	29,96	31,82	28,99	3,46	28,01	29,97

FONTE: A autora (2020).

TABELA 12 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 4 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	4,04	14,04	0,05	8,03	6,60	9,90	3,79	9,42	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	21,93	4,91	20,54	23,33	23,82	6,27	22,04	25,61	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	21,65	5,11	20,20	23,11	25,08	5,07	23,64	26,52	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	-8,19	18,36	-13,41	-2,97	7,41	8,09	5,11	9,71	14,51	5,67	12,89	16,12
	$\lambda = 0,5$	13,27	10,23	10,36	16,18	18,54	5,04	17,10	19,97	23,24	5,02	21,81	24,67
	$\lambda = 1,0$	13,11	10,30	10,19	16,04	20,80	4,63	19,48	22,11	27,15	3,94	26,03	28,27
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	1,81	14,56	-2,33	5,94	12,11	7,01	10,12	14,11	12,23	5,53	10,66	13,80
	$\lambda = 0,5$	15,72	10,93	12,62	18,83	20,77	5,45	19,22	22,32	19,69	5,16	18,22	21,15
	$\lambda = 1,0$	22,08	7,58	19,93	24,24	26,19	3,71	25,14	27,25	25,36	3,58	24,34	26,37

FONTE: A autora (2020).

TABELA 13 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 5 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	-0,69	14,17	-4,71	3,34	5,08	10,29	2,16	8,01	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	23,96	4,93	22,56	25,36	26,17	5,47	24,62	27,73	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	24,50	5,20	23,02	25,98	26,53	5,22	25,05	28,01	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	-7,65	18,81	-13,00	-2,31	6,04	9,34	3,38	8,70	13,82	5,26	12,32	15,31
	$\lambda = 0,5$	13,50	10,50	10,51	16,48	19,74	4,99	18,32	21,15	23,68	4,84	22,31	25,06
	$\lambda = 1,0$	13,32	10,55	10,32	16,32	22,40	4,55	21,11	23,69	27,83	3,78	26,75	28,90
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	0,80	14,46	-3,31	4,91	12,72	6,85	10,78	14,67	11,82	5,46	10,27	13,38
	$\lambda = 0,5$	15,76	10,99	12,64	18,88	21,74	5,09	20,29	23,18	19,69	4,85	18,31	21,06
	$\lambda = 1,0$	22,09	7,58	19,93	24,24	26,94	3,86	25,84	28,04	25,46	4,29	24,24	26,68

FONTE: A autora (2020).

TABELA 14 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 6 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	4,23	12,85	0,58	7,88	7,70	9,08	5,12	10,28	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	21,80	4,90	20,40	23,19	23,50	5,98	21,80	25,20	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	21,49	5,13	20,04	22,95	24,84	4,45	23,57	26,10	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	-14,63	16,34	-19,28	-9,99	8,56	7,00	6,57	10,55	13,77	6,00	12,06	15,47
	$\lambda = 0,5$	19,08	8,46	16,68	21,49	19,70	5,00	18,28	21,12	23,00	5,15	21,54	24,47
	$\lambda = 1,0$	19,08	8,46	16,68	21,49	21,06	4,14	19,89	22,24	24,85	3,52	23,85	25,86
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	2,10	13,29	-1,68	5,88	11,14	6,48	9,30	12,98	14,06	5,96	12,37	15,75
	$\lambda = 0,5$	16,67	9,75	13,90	19,44	20,85	5,46	19,29	22,40	19,92	5,78	18,28	21,56
	$\lambda = 1,0$	22,29	7,19	20,24	24,33	28,36	3,40	27,39	29,33	25,98	3,60	24,96	27,01

FONTE: A autora (2020).

TABELA 15 – DESVIO PERCENTUAL ENTRE O *MAKESPAN* DA POLÍTICA 7 E DA POLÍTICA 8

		20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
Cenário 1	$\lambda = 0,0$	4,04	14,04	0,05	8,03	6,76	10,21	3,86	9,67	*	*	*	*
	$\lambda = 0,5$	21,93	4,91	20,54	23,33	23,88	6,36	22,07	25,69	*	*	*	*
	$\lambda = 1,0$	21,65	5,11	20,20	23,11	25,15	5,12	23,69	26,60	*	*	*	*
Cenário 2	$\lambda = 0,0$	-7,65	18,81	-13,00	-2,31	7,41	8,09	5,11	9,71	14,51	5,67	12,89	16,12
	$\lambda = 0,5$	13,50	10,50	10,51	16,48	18,54	5,04	17,10	19,97	23,24	5,02	21,81	24,67
	$\lambda = 1,0$	13,32	10,55	10,32	16,32	20,80	4,63	19,48	22,11	27,15	3,94	26,03	28,27
Cenário 3	$\lambda = 0,0$	1,81	14,56	-2,33	5,94	12,11	7,01	10,12	14,11	12,23	5,53	10,66	13,80
	$\lambda = 0,5$	15,72	10,93	12,62	18,83	20,77	5,45	19,22	22,32	19,69	5,16	18,22	21,15
	$\lambda = 1,0$	22,08	7,58	19,93	24,24	26,19	3,71	25,14	27,25	25,36	3,58	24,34	26,37

FONTE: A autora (2020).

APÊNDICE 2

Neste apêndice, apresenta-se os resultados da soma total dos atrasos nos atendimentos aos pacientes, para todas as políticas propostas. As tabelas abaixo representam os valores médios das somas dos atrasos, o desvio padrão (DP), o limite inferior (LI) e o limite superior (LS), para um total de 20, 30 e 40 atividades a serem efetuadas pelos circulantes de um hospital. Além disso, os pesos da função objetivo ($\lambda = 0, \lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$) e os cenários de urgência (C1, C2 e C3) dessas atividades foram analisados.

TABELA 16 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 1

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	26,5	49,3	12,5	40,5	38,9	77,0	17,0	60,8	*	*	*	*
	0,5	27,5	52,7	12,5	42,5	46,8	80,6	23,9	69,7	*	*	*	*
	1,0	209,1	238,4	141,4	276,9	177,4	189,2	123,7	231,2	*	*	*	*
2	0,0	6,2	18,8	0,9	11,5	672,8	468,4	539,7	806,0	1025,5	432,5	902,6	1148,5
	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	519,4	306,7	432,3	606,6	789,9	385,9	680,2	899,6
	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1536,5	708,9	1335,0	1738,0	3769,7	915,4	3509,4	4029,9
3	0,0	583,3	307,8	495,8	670,7	1865,2	844,0	1625,3	2105,1	2233,5	847,5	1992,6	2474,4
	0,5	629,4	345,4	531,3	727,6	1956,9	847,7	1715,9	2197,8	2130,5	719,0	1926,1	2334,8
	1,0	1712,3	665,4	1523,1	1901,4	4839,9	1069,6	4535,8	5143,9	4284,5	1070,9	3980,1	4588,9

FONTE: A autora (2020).

TABELA 17 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 2

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	22,2	49,0	8,3	36,1	30,5	75,3	9,1	51,9	*	*	*	*
	0,5	22,2	49,0	8,3	36,1	34,6	87,1	9,9	59,4	*	*	*	*
	1,0	387,6	298,9	302,6	472,6	1301,0	626,2	1123,0	1479,0	*	*	*	*
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	332,1	261,0	257,9	406,3	857,6	543,4	703,1	1012,1
	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	375,2	273,6	297,4	453,0	851,4	471,6	717,4	985,5
	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2629,9	843,1	2390,3	2869,6	3363,2	956,4	3091,3	3635,0
3	0,0	290,1	283,2	209,6	370,6	1436,6	771,0	1217,5	1655,8	1498,7	730,3	1291,1	1706,3
	0,5	346,2	298,1	261,4	430,9	1668,0	784,8	1444,9	1891,0	1798,6	1483,8	1376,8	2220,4
	1,0	1478,6	583,0	1312,9	1644,3	4194,2	868,3	3947,4	4441,0	4652,9	1044,5	4356,0	4949,8

FONTE: A autora (2020).

TABELA 18 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 3

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	22,2	49,0	8,3	36,1	3,7	14,5	-0,4	7,9	*	*	*	*
	0,5	22,2	49,0	8,3	36,1	16,6	30,4	8,0	25,2	*	*	*	*
	1,0	305,9	291,9	223,0	388,9	274,8	302,1	188,9	360,6	*	*	*	*
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	202,7	196,3	146,9	258,5	700,1	562,8	540,2	860,1
	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	375,0	290,8	292,3	457,6	592,7	386,4	482,9	702,5
	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1388,2	652,8	1202,7	1573,8	2990,5	826,8	2755,5	3225,5
3	0,0	105,7	166,5	58,4	153,1	702,4	484,7	564,6	840,2	1136,1	689,4	940,2	1332,1
	0,5	106,0	166,7	58,6	153,4	688,0	358,5	586,1	789,9	1426,9	1575,9	978,9	1874,8
	1,0	872,2	396,6	759,5	984,9	3666,5	822,4	3432,7	3900,3	3908,1	1162,8	3577,6	4238,7

FONTE: A autora (2020).

TABELA 19 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 4

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	22,2	49,0	8,3	36,1	37,4	81,7	14,1	60,6	*	*	*	*
	0,5	23,3	49,1	9,3	37,2	36,9	86,6	12,3	61,5	*	*	*	*
	1,0	321,2	300,8	235,7	406,7	537,9	525,2	388,7	687,2	*	*	*	*
2	0,0	1,2	8,8	-1,3	3,7	387,6	282,2	307,4	467,9	878,5	459,5	747,9	1009,1
	0,5	1,7	9,4	-0,9	4,4	438,1	280,9	358,2	517,9	974,3	560,9	814,8	1133,7
	1,0	1,7	9,4	-0,9	4,4	1742,5	751,8	1528,8	1956,2	3622,2	1278,8	3258,7	3985,7
3	0,0	425,4	371,1	319,9	530,8	1653,1	878,2	1403,4	1902,7	1928,4	948,1	1658,9	2197,9
	0,5	434,9	385,8	325,3	544,6	1677,0	803,7	1448,5	1905,4	2009,3	1550,4	1568,5	2450,0
	1,0	1053,0	636,1	872,2	1233,8	4183,0	1067,6	3879,5	4486,5	5785,9	1380,2	5393,6	6178,2

FONTE: A autora (2020).

TABELA 20 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 5

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	22,2	49,0	8,3	36,1	15,3	51,3	0,7	29,9	*	*	*	*
	0,5	23,3	49,1	9,3	37,2	23,2	57,9	6,8	39,7	*	*	*	*
	1,0	261,3	292,7	178,1	344,5	242,8	353,9	142,2	343,4	*	*	*	*
2	0,0	1,2	8,8	-1,3	3,7	378,4	383,6	269,4	487,5	693,8	470,8	560,0	827,7
	0,5	1,7	9,4	-0,9	4,4	432,4	276,1	353,9	510,9	686,3	514,3	540,2	832,5
	1,0	1,7	9,4	-0,9	4,4	1689,8	636,7	1508,8	1870,8	3329,0	1166,6	2997,3	3660,6
3	0,0	425,4	371,1	319,9	530,8	1462,4	758,5	1246,8	1678,0	1614,6	871,6	1366,9	1862,4
	0,5	434,9	385,8	325,3	544,6	1451,2	731,3	1243,4	1659,1	1672,9	753,4	1458,8	1887,1
	1,0	1042,9	640,5	860,8	1224,9	3921,0	1049,3	3622,8	4219,3	5548,1	1539,9	5110,3	5985,8

FONTE: A autora (2020).

TABELA 21 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 6

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	22,2	49,0	8,3	36,1	30,5	75,3	9,1	51,9	*	*	*	*
	0,5	22,2	49,0	8,3	36,1	34,6	87,1	9,9	59,4	*	*	*	*
	1,0	387,6	298,9	302,6	472,6	1301,0	626,2	1123,0	1479,0	*	*	*	*
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	332,1	261,0	257,9	406,3	857,6	543,4	703,1	1012,1
	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	375,2	273,6	297,4	453,0	851,4	471,6	717,4	985,5
	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2629,9	843,1	2390,3	2869,6	3363,2	956,4	3091,3	3635,0
3	0,0	290,1	283,2	209,6	370,6	1436,6	771,0	1217,5	1655,8	1498,7	730,3	1291,1	1706,3
	0,5	346,2	298,1	261,4	430,9	1668,0	784,8	1444,9	1891,0	1798,6	1483,8	1376,8	2220,4
	1,0	1478,6	583,0	1312,9	1644,3	4194,2	868,3	3947,4	4441,0	4652,9	1044,5	4356,0	4949,8

FONTE: A autora (2020).

TABELA 22 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 7

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	22,2	49,0	8,3	36,1	37,4	81,7	14,1	60,6	*	*	*	*
	0,5	23,3	49,1	9,3	37,2	36,9	86,6	12,3	61,5	*	*	*	*
	1,0	321,2	300,8	235,7	406,7	532,2	529,5	381,7	682,7	*	*	*	*
2	0,0	1,2	8,8	-1,3	3,7	387,6	282,2	307,4	467,9	878,5	459,5	747,9	1009,1
	0,5	1,7	9,4	-0,9	4,4	438,1	280,9	358,2	517,9	974,3	560,9	814,8	1133,7
	1,0	1,7	9,4	-0,9	4,4	1742,5	751,8	1528,8	1956,2	3622,2	1278,8	3258,7	3985,7
3	0,0	425,4	371,1	319,9	530,8	1653,1	878,2	1403,4	1902,7	1928,4	948,1	1658,9	2197,9
	0,5	434,9	385,8	325,3	544,6	1677,0	803,7	1448,5	1905,4	2009,3	1550,4	1568,5	2450,0
	1,0	1053,0	636,1	872,2	1233,8	4183,0	1067,6	3879,5	4486,5	5785,9	1380,2	5393,6	6178,2

FONTE: A autora (2020).

TABELA 23 – SOMA TOTAL DOS ATRASOS NOS ATENDIMENTOS - POLÍTICA 8

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades			
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS
1	0,0	257,4	239,8	189,3	325,6	584,8	515,0	438,4	731,2	11105,5	2687,6	10341,6	11869,5
	0,5	257,4	239,8	189,3	325,6	584,8	515,0	438,4	731,2	11105,5	2687,6	10341,6	11869,5
	1,0	257,4	239,8	189,3	325,6	584,8	515,0	438,4	731,2	11105,5	2687,6	10341,6	11869,5
2	0,0	195,5	235,5	128,5	262,4	2307,1	979,9	2028,5	2585,6	8011,3	2677,0	7250,4	8772,3
	0,5	195,5	235,5	128,5	262,4	2307,1	979,9	2028,5	2585,6	8011,3	2677,0	7250,4	8772,3
	1,0	195,5	235,5	128,5	262,4	2307,1	979,9	2028,5	2585,6	8011,3	2677,0	7250,4	8772,3
3	0,0	1566,7	598,2	1396,7	1736,8	6504,7	2055,7	5920,3	7089,1	8429,0	2177,4	7810,0	9047,9
	0,5	1566,7	598,2	1396,7	1736,8	6504,7	2055,7	5920,3	7089,1	8429,0	2177,4	7810,0	9047,9
	1,0	1566,7	598,2	1396,7	1736,8	6504,7	2055,7	5920,3	7089,1	8429,0	2177,4	7810,0	9047,9

FONTE: A autora (2020).

APÊNDICE 3

Neste apêndice, apresenta-se os resultados do tempo computacional utilizado para a execução de todas as políticas de resequenciamento propostas. As tabelas abaixo representam os valores médios do tempo computacional de cada resequenciamento, o desvio padrão (DP), o limite inferior (LI) e o limite superior (LS), para um total de 20, 30 e 40 atividades a serem efetuadas pelos circulantes de um hospital. Além disso, os pesos da função objetivo ($\lambda = 0$, $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 1$) e os cenários de urgência (C1, C2 e C3) dessas atividades foram analisados.

TABELA 24 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 1

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 1	1	0,0	0,43	0,07	0,41	0,45	0,46	0,04	0,45	0,47	*	*	*	*
		0,5	0,69	0,10	0,66	0,72	0,55	0,08	0,52	0,57	*	*	*	*
		1,0	0,74	0,09	0,72	0,77	0,54	0,05	0,53	0,56	*	*	*	*
	2	0,0	0,15	0,02	0,15	0,16	49,90	102,53	20,75	79,05	313,69	228,04	248,87	378,51
		0,5	0,18	0,02	0,17	0,18	55,53	64,18	37,29	73,78	393,33	235,61	326,35	460,30
		1,0	0,17	0,03	0,16	0,18	80,81	53,26	65,68	95,95	656,12	85,15	631,91	680,32
	3	0,0	0,47	0,10	0,44	0,50	339,57	225,39	275,50	403,63	284,65	293,38	201,25	368,05
		0,5	0,54	0,09	0,51	0,56	344,66	258,29	271,24	418,08	219,62	233,76	153,17	286,07
		1,0	0,57	0,08	0,55	0,59	179,46	60,76	162,19	196,73	183,73	86,85	159,04	208,41

FONTE: A autora (2020).

TABELA 25 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO - POLÍTICA 2

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 2	1	0,0	0,25	0,05	0,23	0,26	0,33	0,13	0,30	0,37	*	*	*	*
		0,5	0,43	0,07	0,41	0,45	48,50	107,06	18,06	78,93	*	*	*	*
		1,0	0,39	0,05	0,37	0,40	126,39	46,49	113,17	139,60	*	*	*	*
	2	0,0	0,14	0,02	0,14	0,15	28,31	66,79	9,33	47,30	298,38	226,55	233,98	362,78
		0,5	0,20	0,04	0,19	0,21	183,34	161,87	137,33	229,35	410,86	256,92	337,83	483,89
		1,0	0,20	0,03	0,19	0,21	263,74	70,24	243,77	283,70	350,74	128,79	314,13	387,35
	3	0,0	0,29	0,10	0,26	0,31	304,75	225,77	240,57	368,92	305,06	252,03	233,42	376,70
		0,5	0,41	0,14	0,37	0,46	348,54	302,25	262,63	434,46	257,75	265,12	182,39	333,11
		1,0	0,38	0,05	0,36	0,39	255,04	69,94	235,16	274,92	106,27	24,25	99,38	113,16

FONTE: A autora (2020).

TABELA 26 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO -
POLÍTICA 3

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 3	1	0,0	0,29	0,12	0,26	0,33	0,43	0,15	0,39	0,47	*	*	*	*
		0,5	31,60	52,56	16,66	46,54	0,89	1,70	0,41	1,38	*	*	*	*
		1,0	0,53	0,03	0,52	0,54	0,48	0,04	0,47	0,49	*	*	*	*
	2	0,0	0,14	0,02	0,13	0,14	29,09	67,49	9,91	48,27	349,21	278,27	270,11	428,31
		0,5	0,17	0,04	0,16	0,19	230,68	184,82	178,14	283,22	375,43	234,04	308,90	441,96
		1,0	0,16	0,03	0,15	0,17	0,81	0,01	0,81	0,81	318,17	95,36	291,06	345,28
	3	0,0	19,39	53,52	4,17	34,60	290,29	227,26	225,69	354,89	282,32	246,63	212,22	352,43
		0,5	101,98	74,11	80,91	123,05	393,06	270,32	316,22	469,90	250,08	249,23	179,23	320,92
		1,0	105,60	28,73	97,44	113,77	126,89	57,87	110,44	143,34	107,94	32,35	98,74	117,13

FONTE: A autora (2020).

TABELA 27 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO -
POLÍTICA 4

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 4	1	0,0	0,21	0,06	0,19	0,23	0,36	0,12	0,33	0,40	*	*	*	*
		0,5	0,43	0,09	0,41	0,46	20,19	53,67	4,93	35,44	*	*	*	*
		1,0	0,38	0,07	0,36	0,40	56,61	84,05	32,72	80,50	*	*	*	*
	2	0,0	0,13	0,03	0,12	0,13	19,35	54,35	3,90	34,80	270,17	194,77	214,81	325,54
		0,5	0,18	0,04	0,17	0,19	136,47	153,07	92,95	179,98	390,04	278,70	310,82	469,27
		1,0	0,17	0,04	0,16	0,18	116,54	167,26	68,99	164,08	339,13	237,13	271,73	406,54
	3	0,0	0,33	0,11	0,30	0,36	367,92	257,66	294,68	441,16	289,27	284,23	208,48	370,06
		0,5	0,42	0,12	0,39	0,45	329,52	238,36	261,77	397,28	208,16	245,55	138,36	277,95
		1,0	0,39	0,09	0,37	0,42	437,01	304,51	350,45	523,57	210,81	307,56	123,38	298,24

FONTE: A autora (2020).

TABELA 28 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO -
POLÍTICA 5

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 5	1	0,0	0,29	0,11	0,26	0,32	0,39	0,14	0,35	0,43	*	*	*	*
		0,5	19,14	42,57	7,03	31,24	28,89	60,91	11,57	46,20	*	*	*	*
		1,0	0,50	0,11	0,47	0,53	27,27	89,25	1,90	52,64	*	*	*	*
	2	0,0	0,11	0,03	0,10	0,12	44,25	147,99	2,19	86,32	261,02	220,75	198,28	323,77
		0,5	0,16	0,04	0,15	0,17	161,11	126,54	125,13	197,08	385,93	217,80	324,02	447,84
		1,0	0,15	0,04	0,14	0,16	172,56	212,78	112,08	233,05	294,47	257,41	221,30	367,64
	3	0,0	0,33	0,12	0,30	0,37	347,36	255,42	274,76	419,96	281,83	222,78	218,50	345,15
		0,5	0,41	0,12	0,38	0,45	348,81	241,45	280,17	417,44	235,84	247,95	165,36	306,32
		1,0	0,39	0,08	0,37	0,41	368,87	260,77	294,75	443,00	262,52	326,08	169,83	355,21

FONTE: A autora (2020).

TABELA 29 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO -
POLÍTICA 6

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 6	1	0,0	0,24	0,05	0,22	0,25	0,32	0,14	0,28	0,37	*	*	*	*
		0,5	0,42	0,08	0,40	0,44	43,76	106,34	13,53	73,99	*	*	*	*
		1,0	0,39	0,05	0,37	0,40	123,10	48,73	109,25	136,95	*	*	*	*
	2	0,0	0,15	0,02	0,14	0,15	25,71	65,12	7,20	44,22	300,15	226,59	235,74	364,55
		0,5	0,18	0,03	0,17	0,18	203,63	170,16	155,26	252,00	409,64	258,63	336,12	483,16
		1,0	0,17	0,03	0,16	0,18	251,31	84,87	227,19	275,44	366,57	109,92	335,32	397,81
	3	0,0	0,30	0,09	0,27	0,33	327,99	206,96	269,16	386,82	283,13	259,50	209,36	356,89
		0,5	0,44	0,13	0,40	0,47	403,28	307,56	315,86	490,71	264,89	261,26	190,63	339,15
		1,0	0,37	0,05	0,36	0,39	245,13	82,98	221,55	268,72	105,78	26,07	98,37	113,20

FONTE: A autora (2020).

TABELA 30 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO -
POLÍTICA 7

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 7	1	0,0	0,24	0,05	0,22	0,25	0,37	0,16	0,32	0,41	*	*	*	*
		0,5	0,44	0,08	0,41	0,46	39,58	131,35	2,25	76,92	*	*	*	*
		1,0	0,42	0,06	0,40	0,44	61,88	92,94	35,46	88,30	*	*	*	*
	2	0,0	0,12	0,02	0,12	0,13	17,32	54,06	1,95	32,69	229,61	184,73	177,09	282,12
		0,5	0,17	0,04	0,16	0,18	125,41	153,58	81,76	169,07	372,90	280,67	293,11	452,68
		1,0	0,16	0,03	0,15	0,17	113,83	165,59	66,76	160,90	354,48	225,24	290,45	418,50
	3	0,0	0,34	0,11	0,31	0,37	376,08	293,37	292,68	459,47	326,01	284,91	245,02	407,00
		0,5	0,41	0,12	0,38	0,45	330,04	240,10	261,79	398,29	210,87	251,82	139,29	282,45
		1,0	0,39	0,09	0,37	0,42	460,27	308,73	372,51	548,03	206,87	308,23	119,25	294,48

FONTE: A autora (2020).

TABELA 31 – TEMPO COMPUTACIONAL PARA A EXECUÇÃO DO RESEQUENCIAMENTO -
POLÍTICA 8

C	λ	20 Atividades				30 Atividades				40 Atividades				
		Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	Média	DP	LI	LS	
Política 8	1	0,0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
		0,5	0,03	0,01	0,03	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03
		1,0	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03
	2	0,0	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
		0,5	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,00	0,04	0,04	0,03	0,00	0,03	0,04
		1,0	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03
	3	0,0	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
		0,5	0,04	0,00	0,04	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03
		1,0	0,04	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03

FONTE: A autora (2020).